

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт экологии и географии  
Кафедра географии

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Г.Ю.Ямских  
подпись      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Оценка гидрохимического состояния воды  
и химического состояния донных отложений  
Красноярского водохранилища

05.04.06 Экология и природопользование

05.04.06.03 Геоэкология

|                      |               |                           |                        |
|----------------------|---------------|---------------------------|------------------------|
| Научный руководитель | _____         | _____                     | <u>О. А. Кузнецова</u> |
|                      | подпись, дата | должность, ученая степень | инициалы, фамилия      |
| Выпускник            | _____         |                           | <u>К. Н. Салаватов</u> |
|                      | подпись, дата |                           | инициалы, фамилия      |
| Нормоконтролер       | _____         |                           | <u>М. И. Кокова</u>    |
|                      | подпись, дата |                           | инициалы, фамилия      |
| Рецензент            | _____         | _____                     | <u>С. А. Кырова</u>    |
|                      | подпись, дата | должность, ученая степень | инициалы, фамилия      |

Красноярск 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 3  |
| 1 Водохранилища и их влияние на состояние окружающей природной среды...                          | 7  |
| 2 Общая характеристика глубоководного Красноярского водохранилища.....                           | 14 |
| 2.1 Краткая история изучения водного объекта.....  | 14 |
| 2.2 Географическое положение и основные характеристики водохранилища.....                        | 17 |
| 2.3 Гидрологический режим.....   | 22 |
| 2.4 Гидротермический режим.....  | 23 |
| 2.5 Гидрохимический режим.....   | 25 |
| 2.6 Гидробиологический режим.....  | 26 |
| 3 Основные источники загрязнения Красноярского водохранилища.....                                | 32 |
| 4 Материалы и методика исследований водного объекта .....  | 36 |
| 4.1 Основные положения программы мониторинга Красноярского водохранилища...                      | 36 |
| 4.2 Характеристика сети наблюдений и перечень контролируемых показателей....                     | 37 |
| 4.3 Методы и материалы исследований.....   | 40 |
| 5. Результаты исследований состояния воды и донных отложений<br>Красноярского водохранилища..... | 45 |
| 5.1 Исследование гидрохимического состояния воды .....   | 45 |
| 5.2 Анализ химического состояния донных отложений водоема.....                                   | 60 |
| 6 Оценка качества поверхностных вод и донных отложений Красноярского<br>водохранилища .....      | 69 |
| 6.1 Оценка качества поверхностных вод.....   | 69 |
| 6.2 Качественный анализ донных отложений водного объекта.....                                    | 73 |
| Выводы.....  | 76 |
| Список сокращений.....   | 77 |
| Список литературных источников.....  | 79 |
| Приложения А-Д.....  | 84 |

## ВВЕДЕНИЕ

Реки России являются основой для развития гидроэнергетики. При строительстве ГЭС одновременно создаются и водохранилища гидроэлектростанций, в которых аккумулируются значительные запасы пресной воды. Водохранилища ГЭС представляют собой искусственные водные объекты, комплексное использование которых позволяет решать многообразные социально-экономические и водохозяйственные задачи. Их основным назначением является выравнивание стока речных вод, его регулирование для обеспечения целесообразной работы гидроэлектростанций. Они также используются для орошения, обводнения

земель, водоснабжения населенных пунктов и предприятий, улучшения судоходства, предотвращения наводнений, для рыбного хозяйства и рекреации.

Вместе с тем водохранилища вносят в природу и хозяйство территорий, на которых они созданы, ряд побочных нежелательных изменений, часто перерастающих в экологические проблемы. Как следствие активной хозяйственной деятельности в водохранилищах могут происходить изменения их абиотической и биотической составляющих. Известно, что водохранилища значительно меняют режим стока рек, уменьшают перемещение водных масс, замедляют процесс водообмена. В момент заполнения чаши водохранилища водой затопливаются огромные участки ценных сельскохозяйственных угодий, лесные массивы и другие площади, что, в свою очередь, прекращает их дальнейшее использование. При создании водохранилищ на месте затопления прилегающей территории почвы, остатки естественной растительности превращаются в органические питательные вещества, в результате чего создаются условия для активного развития синезеленых водорослей, постепенно изменяется гидрохимический состав воды. Периодические колебания уровня воды в водохранилищах вызывают размывы и обрушение берегов, что приводит к расширению площади, занимаемой данными водными объектами. Строительство ГЭС, как правило, влечет за собой промышленное развитие региона, что предполагает строительство новых заводов и городских агломераций, а это, как правило, ведет к загрязнению вод, аккумуляции загрязняющих веществ в водохранилищах.

В соответствии с Водным Кодексом Российской Федерации водохранилища ГЭС относятся к федеральной собственности, так как, являются государственным стратегическим запасом пресной воды России. Отсюда возникает необходимость в более полном изучении экологического состояния воды, как одного из важных компонентов общей экологической ситуации данных водных объектов. Исследования качества воды и донных отложений водохранилищ проводится в рамках системы режимных долгосрочных наблюдений (мониторинга), которая предусматривают контроль их состояния, оценку и прогноз изменений, происходящих под влиянием антропогенной деятельности.

Как показывает опыт мониторинговых наблюдений, в результате активной хозяйственной деятельности в водохранилищах могут происходить изменения, неизменно влекущие за собой процессы эвтрофирования, ацидофикации, загрязнения и ухудшения качества воды и донных отложений. В последние десятилетия накоплен обширный материал по изучению становления экологического режима водохранилищ, развитию и изменению их абиотической и биотической составляющих. Формирование качества воды и донных отложений в условиях водохранилищ представляет собой сложный процесс, зависящий от особенностей стока и взаимодействия большого числа

факторов, изучение которого более чем актуально для разработки методов управления им, как в водной системе в целом, так и на отдельных ее участках.

Мониторинг водохранилищ направлен на получение объективной информации об изменениях, происходящих в водохранилищах, необходимой для своевременного определения и прогнозирования процессов загрязнения, ухудшающих качество воды, а так же разработки и реализации мер по предотвращению поступления загрязняющих веществ в водоемы для предотвращения полного истощения его вод. В зависимости от вида водного объекта и характера решаемых задач системы мониторинга строятся по-разному, однако, во всех случаях в эту систему включаются следующие обязательные блоки: мониторинг источников загрязнения, гидрологический мониторинг, гидрохимический мониторинг и гидробиологические наблюдения.

**Цель** – оценить гидрохимическое состояние воды и химическое состояние донных отложений глубоководного Красноярского водохранилища.

**Задачи:**

1. Рассмотреть особенности влияния водохранилищ на состояние окружающей природной среды;
2. Дать общую характеристику глубоководного Красноярского водохранилища, включая краткую историю изучения, основные характеристики и типы режимов;
3. Провести анализ гидрохимического состояния вод и донных отложений исследуемого водного объекта на основе показателей, полученных в рамках мониторинга;
4. Осуществить оценку качества поверхностных вод и донных отложений Красноярского водохранилища.

**Объектом исследований** является уникальный водоем Сибири - Красноярское водохранилище.

**Предмет исследования** - гидрохимические показатели воды и донных отложений как индикаторов экологического состояния водохранилища.

**Методы исследования:** теоретический, статистический, аналитический. В процессе работы автором были выполнены натурные обследования, отбор проб для определения содержания загрязняющих веществ в воде и донных отложениях водохранилища, математическая обработка полученного материала с помощью автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов Российской Федерации «АИС ГМВО», графическое оформление данных, количественный и качественный анализ гидрохимических показателей воды и донных отложений водохранилища, и оценка степени загрязненности водного объекта.

**Актуальность исследования.** Водоохранилища являются водными объектами, которые находятся под многофакторным антропогенным

воздействием, влияющим на их гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режимы. Красноярское водохранилище представляет собой крупнейшим водоемом Сибири и имеет важное экологическое и хозяйственное значение для региона. Это уникальный водный объект, который по сочетанию физических, химических и биологических характеристик, не имеет аналогов. Водохранилище включает несколько участков, находящихся в разных ландшафтных зонах и имеющих антропогенную нагрузку разного уровня, в связи с этим особое значение при существующем режиме эксплуатации водных ресурсов водоема приобретает разработка вопросов его оптимального использования в целях интересов рыбного хозяйства и сохранения высокого качества воды как источника питьевого водоснабжения. Недостаточная изученность гидрохимического состояния поверхностных вод и донных отложений водохранилища определяют актуальность проведения мониторинговых исследований и необходимость отслеживания негативных процессов, происходящих в водном объекте, с целью предотвращения полного истощения его вод.

**Научная новизна и теоретическая значимость** данной исследовательской работы заключается в получении и обработке автором материалов, которые позволяют дать объективную оценку антропогенного влияния на важный водный объект Красноярского края, в том числе на его экологическое состояние. Результаты и выводы исследовательской работы расширяют знания о современном состоянии экосистемы Красноярского водохранилища.

**Практическая значимость** исследования определяется возможностью применения полученных результатов для оценки рисков возникновения загрязнения водной среды и донных отложений в условиях возрастающего антропогенного воздействия и нарушения экологического равновесия в водохранилищах. Данные по загрязнению воды и донных отложений могут служить в качестве рекомендаций водопользователям при проведении комплекса мероприятий, направленных на снижение экологической нагрузки (в виде загрязнения) на водные объекты Красноярского края и для выявления критических моментов с целью корректировки методики расчета вреда с учетом региональных особенностей.

**Апробация работы.** Материалы диссертации докладывались на XX Международной научной школе-конференции студентов и молодых ученых «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий» (г. Абакан, 2016 г.), X Международной научно-практической конференции молодых ученых «Устойчивое развитие: Региональные аспекты» (г. Брест, 2018 г.), XIV Международной научно-практической конференции «Eurasiascience» (г. Москва, 2018 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 3 работы.

**Исходные материалы и личный вклад автора.** Исходные материалы получены в результате экспедиционных съемок на Красноярском

водохранилище в рамках Программы мониторинга на базе Енисейское БВУ и ФГУ «Енисейрегионводхоз» (система Росводресурсов) в период 2013-2017 гг. Работа выполнена на кафедре географии Института экологии и географии Сибирского федерального университета. Автор принимал непосредственное участие в отборе проб воды и данных отложений водохранилища, самостоятельно осуществил обработку и анализ большого объема исходных данных, и формирование базы данных по гидрохимическим показателям водного объекта с использованием современных методов обработки.

## **1 Водохранилища и их влияние на состояние окружающей природной среды**

Водохранилища представляют собой искусственные водные объекты, управляемые человеком, при этом испытывающие сильнейшее воздействие природных факторов. Поэтому как объекты изучения, использования и управления, искусственные водохранилища занимают промежуточное положение между «чисто природными» и «чисто техническими» образованиями, что дает право именовать их природно-техническими системами. Всем водохранилищам свойственна особая система так называемых внутри водоемных процессов – гидрологических, гидрохимических и гидробиологических.

Как известно, создание водохранилищ влечет за собой ряд негативных последствий для окружающей среды: затопление ландшафтов и плодородной земли, пригодной для сельхозпроизводства; изменение гидрологического режима (колебания уровня, замедление течения в водохранилищах); эрозию береговой линии водохранилищ, переформирование берегов и дна водоемов, устьевых участков рек, впадающих в водохранилища, формирование баров; появление на акватории водохранилищ запасов плавающей древесины вследствие береговой эрозии; изменение уровня грунтовых вод, температурного режима водной массы и окружающей среды; повышение влажности, появление интенсивных и продолжительных по времени туманов; увеличение площади водного зеркала; дополнительные потери воды на испарение; изменение гидрохимического состава воды в водохранилищах; перестройку растительного и животного мира; нарушение условий нерестилищ рыбы, опасность провокации колебания земной коры в связи с сооружением крупных плотин и водохранилищ и т. д. [1, 4, 63, 65].

При образовании водохранилищ происходит прямое затопление и уничтожение обширных площадей земель (в том числе особо плодородных), населенных пунктов, промышленных объектов. По данным Кадастра водохранилищ объемом более 1 млн. м<sup>3</sup>, составленного ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, в настоящее время затоплено около 6,0 млн. га приречных территорий, на которых были расположены 3,0 млн. га сельскохозяйственных угодий, 5000 сельских и 106 городских и поселковых пунктов с общей численностью населения более 1 миллиона человек. В зону затопления попало около 1 тыс. км железных и 5 тыс. км автомобильных дорог, 1200 промышленных предприятий и других объектов народного хозяйства. Так, при строительстве одной только Красноярской ГЭС было затоплено 120 тыс. га пашни и угодий, остальные расчленены заливами и стали малопригодны для землепользования. Из-за трудностей с лесочисткой лежа на неудобьях под воду ушли значительные объемы лесных массивов, а также отходы рубки и тонкомерный лес [2]. В таблице 1 представлена количественная оценка

последствий реализации решений по ГЭС - результаты затопления земель - на примере ряда водохранилищ Ангаро-Енисейского бассейна.

Таблица 1 - Результаты затопления земель водохранилищами Ангаро-Енисейского каскада ГЭС [4]

| Показатель                                     | Водохранилище |                 |             |          |               |
|--|---------------|-----------------|-------------|----------|---------------|
|  | Красноярское  | Саяно-Шушенское | Богучанское | Братское | Усть-Илимское |
| Год заполнения водохранилища                   | 1970          | 1986            | 2013        | 1963     | 1975          |
| Общая площадь затопления, тыс. га              | 175           | 55              | 151         | 511      | 154           |
| В том числе:                                   |               |                 |             |          |               |
| - сельскохозяйственные угодья                  | 120           | 18,3            | 29,6        | 166,3    | 21,3          |
| - лес и кустарники                             | 38            | 30,5            | 121,4       | 326,9    | 127,8         |
| Площадь лесосводки и лесочистки, тыс. га       | 13,0          | 3,6             | 121,4       | 253,9    | 37,9          |
| Объем лесосводки, млн. м <sup>3</sup>          | 0,44          | 1,4             | 10,6        | 32,0     | 11,9          |
| Объем плавающей древесины, млн. м <sup>3</sup> | 0,1           | 0,7             | 2,0         | 2,2      | 0,9           |

При создании водохранилищ в зону затопления также попадают неразведанные месторождения полезных ископаемых, что приводит к их утере. Происходит разрушение наземных экосистем в зоне будущего затопления и прилегающих районов в процессе строительных работ и подготовки ложа водохранилища. Уничтожение растительного покрова, прокладка дорог и других линейных сооружений, подрезка склонов приводит к активизации негативных геоморфологических процессов: склоновых обвалов и оползней, эрозии, деградации многолетней мерзлоты. В период строительства водохранилищ в результате усиления эрозионных процессов и смыва различных отходов происходит, как правило, наибольшее загрязнение реки, в том числе нефтепродуктами и тяжелыми металлами.

Создание плотин сопровождается также появлением новых границ воды и суши с обновленными активными процессами. Смещение береговой линии образуют обширные территории, в пределах которых коренным образом меняется структура ландшафтов. Формирование зоны подтопления вдоль берегов водохранилищ приводит к постепенному заболачиванию территории, в результате ухудшается качество или полностью выводятся из оборота земли сельскохозяйственного назначения [3, 66].

Формирование и эксплуатация водохранилищ ГЭС приводит к коренному изменению гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов рек. В наибольшей степени эти преобразования проявляются при создании глубоководных водохранилищ, к числу которых относится Красноярское водохранилище.



В последние десятилетия практически на всей территории России основными особенностями изменения сезонного стока рек, зарегулированных ГЭС, стало увеличение их водности в зимний период, более раннее вскрытие и позднее образование ледяного покрова. Так, зарегулирование стока плотиной Красноярской ГЭС привело к кардинальному изменению гидрологического режима реки, который теперь полностью определяется графиком работы ГЭС. Значительно (в 3-5 раз) сократились расходы воды в период весеннего половодья. Ошибки же регулирования пропусков воды, как правило, приводят к новым дополнительным зимним наводнениям [10, 26].

Важной проблемой связанной с функционированием водохранилищ является переработка берегов, возникающая непосредственно вслед за заполнением водохранилища, и связанная с береговой эрозией под влиянием волноприбойной деятельности, колебаний уровня воды и других факторов, формирующих береговую линию. Размывы берегов в водохранилищах могут достигать до сотни метров, а переработка береговой зоны может повлечь за собой образование аккумулятивных участков, заиливание ложа водохранилища, и как следствие - уменьшение стока в нижнем бьефе. Кроме того, мельчайшие частицы грунта, переходящие во взвесь и остающиеся во взвешенном состоянии в виде мути, существенно меняют качество воды водохранилищ. Растворенными в воде оказываются и органические вещества, поступающие в результате размыва берегов. В итоге вода на отдельных участках водоемов зачастую становится типично «мертвой», поскольку происходит понижение содержания кислорода, уровня кислотности, накопление ядовитых веществ [7, 17, 25].

Существующие подходы к подготовке ложа водохранилищ не отвечают экологическим интересам. Как известно, недостаточная подготовка ложа водохранилищ к затоплению, проведение лесосводки не в полном запланированном объеме или практически полное отсутствие лесосводки и лесочистки перед заполнением создаваемых водных объектов становятся причиной негативных последствий. Наличие больших объемов древесины в зоне затопления водохранилищ, например, таких как Красноярское и Саяно-Шушенское, оказывает неблагоприятное воздействие на качество воды в водохранилищах. Активное обрушение лесопокрывных берегов, нарушение технологий лесосплавных работ на водохранилищах и на реках, впадающих в них, а также стихийные явления, которые неизбежны на таких пространствах, приводят к увеличению количества плавающей древесной массы. Так, в уничтоженном водой лесном массиве Енисейских водохранилищ на каждом затопленном квартале от 100 до 300 кубометров леса, однако проведение сплошной сводки древесной растительности в ложе ГЭС было признано экономически не целесообразным. В результате таких решений только в заливах водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС образовалось скопление древесной массы объемом около 1 млн. м<sup>3</sup>,

закономерно вызывающее существенное ухудшение качественных показателей воды, (увеличение содержания аммонийного азота, фосфатов, органических веществ, фенолов), делая ее ядовитой, непригодной для водопотребления [2, 11, 26]. Сегодня приходится устранять просчеты прошлых лет. Только проект очистки водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС от топляка, реализуемый по заказу Федерального агентства водных ресурсов, был рассчитан на период более 10 лет.

В водохранилищах происходит также подтопление берегов в весенне-летний и осенний периоды. Это опасное явление вызвано увеличением влажности почв и грунтов в результате повышения уровня грунтовых вод. При этом изменяются не только уровни подземных вод, но и их гидрохимический режим, влажностный и солевой режимы грунтов зоны аэрации, физико-химические свойства грунтов, почвообразовательные процессы и др. Как следствие резко ухудшается жизнедеятельность растений, разрушаются фундаменты сооружений и происходит ряд сопутствующих опасных нарушений геологической среды. В конечном итоге, это приводит к значительному эколого-экономическому ущербу [7, 56].

Относительно высокие температуры воды в придонных горизонтах водохранилищ, а также глубинное расположение водозаборных окон ГЭС являются основными причинами образования в зимний период значительных по протяженности участков открытой воды в нижнем бьефе ГЭС. Так на участке реки ниже плотины Красноярской ГЭС образуется незамерзающая полынья, кромка которой в отдельные годы может спускаться более чем на 270 км от плотины ниже по течению. Зимой, после установления ледостава, имеют место резкие (до 4-6 м) повышения уровня воды на отдельных участках реки, связанные с зашугованностью русла и образованием «зажорных» явлений. Часто такие подъемы уровня воды вызывают подтопления близлежащих населенных пунктов. Влияние Красноярской ГЭС на уровень и ледовый режим Енисея прослеживается более чем на 900 км, до устья реки Подкаменная Тунгуска.

Происходят неблагоприятные изменения и в климатических режимах зон водохранилищ, наиболее резко проявляющиеся в нижнем бьефе, где зимой образуется полынья длиной в несколько десятков километров, а летом наоборот температуры воды понижены. В связи с изменением климата на водосборах водохранилищ изменились гидрологические режимы рек Ангаро-Енисейского бассейна, увеличилась повторяемость, величина и синхронность экстремальных паводков и засух. Создание водохранилищ оказывает существенное воздействие и на климат целых регионов, поскольку в результате их создания сильно возрастает площадь испарения воды, сокращается общий сток реки, а в других районах - увеличивается уровень осадков. Сооружение на реке каскада гидроэлектростанций может вызвать резкое снижение температуры воды в нижнем течении реки,

поскольку потенциальная энергия воды, ранее шедшая на ее нагрев, после создания гидроэлектростанций расходуется на вращение турбин. При этом снижение температуры воды реки даже на один градус может оказать значительное влияние на климат в ее низовье [17, 27].

Основные экологические проблемы гидроэнергетики связаны с качеством водной среды. Загрязнение воды водохранилищ часто вызвано не технологическими процессами производства электроэнергии на ГЭС (объемы загрязнений, поступающие со сточными водами ГЭС, составляют ничтожно малую долю в общей массе загрязнений хозяйственного комплекса), а низким качеством санитарно-технических работ при создании водных объектов. При этом существенными факторами, под воздействием которых происходит формирование гидрохимического режима, являются: природные фоновые характеристики качества воды; морфометрические характеристики водохранилища (в т. ч. числе глубина сработки уровня воды и мертвый объем); водообмен и степень проточности; процессы образования и таяния льда; процессы биологического самоочищения водоема; температура воды; смещение фаз гидрохимического режима и амплитуды максимумов концентрации примесей; режим поступления загрязняющих веществ (в т. ч. химических веществ, с высокой сорбционной способностью), особенно при аварийных ситуациях; химический состав пород и подземных вод ложа и бортов водохранилища.

Достаточно высок уровень антропогенной нагрузки на водохранилища ГЭС. Расположение водосборной площади реки, как правило, на густонаселенной и урбанизированной территории с развитым сельским хозяйством, масштабное гидростроительство, зарегулирование стока, интенсивное водопотребление, загрязнение воды и прибрежной зоны, создают сложную санитарно-биологическую и экотоксикологическую ситуацию [4, 14, 56].

В первые годы после заполнения водохранилищ, в них появляется много разложившейся растительности, а «новый» грунт может резко снизить уровень кислорода в воде. Гниение органических веществ нередко приводит к выделению огромного количества парниковых газов - метана и двуокиси углерода. Водоохранилища часто «созревают» десятилетиями или дольше, пока протекает процесс разложения большей части всей органики.

Засоренность ложа водохранилищ, недостаточная очистка сточных вод, поступающих в них от водопользователей, расположенных на его берегах, на фоне сниженных процессов самоочищения, ввиду замедления водообмена, создают благоприятные условия для развития синезеленых водорослей, ускоряющих процесс эвтрофирования водоемов. Ежегодное массовое «цветение» водорослей в водохранилищах делает их воду малоприспособленной для промышленного использования и хозяйственных нужд [11, 13, 57].

Все выше перечисленные негативные факторы вызывают изменение видовой структуры и снижение видового разнообразия биоты

водохранилищ, сокращение ее численности и биомассы, формирование новых биоценозов. Происходит также перестройка наземных экосистем, большая часть видов животных погибает, сохраняются лишь те виды, которые смогли выжить и адаптироваться к изменившимся условиям среды вследствие создания и функционирования водохранилищ. Данное воздействие выражается в потере мест обитания (и/или гнездования) за счет затопления и переработки береговой зоны, изменении типа растительности или сокращении ее площадей в зоне подтопления, влиянии фактора беспокойства (строители, карьеры, автодороги) и мн. др.

Изменение гидрологического режима, после зарегулирования стока рек, например такой реки как Енисей, в значительной степени нарушает структуру речного ихтиоценоза. Полностью перестраивается система мест обитаний рыб. Блокируется возможность сезонных миграций проходных и полупроходных рыб. На обилии оседлых стад рыб сказывается отчуждение традиционных мест нереста, перестройка условий нереста, нагула и зимовок, трансформация основных нерестовых участков и зимовальных ям. Проблема усугубляется и тем, что рыбопропускные сооружения на гидроузлах, там, где они есть, показали свою крайне низкую эффективность. Со времен пуска первых гидроэлектростанций известно о массовой гибели рыб и планктона в турбинах ГЭС. Это явление является одним из наиболее негативных антропогенных воздействий водохранилищ. Тысячи эксплуатируемых в мире ГЭС ежегодно «перемалывают» турбинами сотни млн. тонн живых организмов зарегулированных рек, разрушая экологические системы водных объектов. И, как результат, наблюдается резкое уменьшение рыбопродуктивности водных объектов, снижение процессов самоочищения рек, возрастание негативной роли хозяйственных стоков, непрерывное загрязнение водоемов мертвой органикой, и, в конечном итоге, прогрессирующее ухудшение качества воды [53, 62].

Еще одним негативным последствием, а точнее опасностью, является провокации колебания земной коры в связи с сооружением крупных плотин и водохранилищ, так называемая «наведенная сейсмичность». Так, в последнее время в районе Саяно-Шушенской ГЭС зафиксировано усиление частоты и силы землетрясений. В случае же аварийной ситуации, возникшей на гидроэлектростанции, может произойти полное разрушение экосистем, населенных пунктов, гибель людей и животных в зоне воздействия волны прорыва и сопутствующего ему затопления. Одновременно этот процесс будет сопровождаться загрязнением реки и затапливаемой местности. Так в результате аварии на Саяно-Шушенской ГЭС 17 августа 2009 года погибло 75 человек, оборудованию и помещениям станции нанесён серьёзный ущерб. Восстановление Саяно-Шушенской ГЭС обошлось более 10 млрд. рублей. Тонны нефтепродуктов попали в реку Енисей, что нанесло реке немалый вред. Последствия аварии устранялись не один год.

Экологическая оценка последствий антропогенного воздействия на экосистемы водохранилищ ГЭС становится все более актуальной в связи с ростом концентрации промышленного производства на их водосборных площадях. На основании всего выше сказанного, очевидно, что существует насущная необходимость комплексной оценки экологических последствий строительства и эксплуатации ГЭС и поиска их устранения, при этом необходимо учитывать и ликвидировать все ошибки прошлых лет.

## **2 Общая характеристика глубоководного Красноярского водохранилища**

### **2 Краткая история изучения водного объекта**

Красноярское водохранилище, образовано на одной из крупнейших рек земного шара – Енисее, и представляет собой уникальный искусственный водоем, ставший неотъемлемой частицей природы Приенисейской Сибири.

Наполнение Красноярского водохранилища происходило с весны 1967 года по август 1970 года, после наполнения водохранилища, возникла необходимость изучения ее влияния на окружающую среду. С первых лет создания водохранилища рядом научно-исследовательских институтов и организаций было начато изучение гидрологического и гидрохимического режимов, процессов формирования флоры и фауны водоема. В серьезных профессиональных исследованиях принимали участие Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения АН СССР, Сибирский научно-исследовательский институт энергетики (СибНИИЭ), Сибирский филиал Всесоюзного научно-исследовательского института гидрогеологии им. Б. Е. Веденеева, Красноярское отделение государственного института «Гидропроект», Енисейское бассейновое управление (лаборатории г. Красноярска и г. Абакана) и другие организации. Значительный вклад в изучение формирования экосистемы водохранилища, особенно в первые десятилетия, внесли сотрудники Красноярского отделения Сибирского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института рыбного хозяйства (СибрыбНИИпроект). Ответственной организацией, выполняющей работы по гидрометеорологии и гидрохимии с первых дней и по настоящее время, является Красноярское управление Гидрометеослужбы (КГМС). В 1971 году на его базе были созданы 17 гидрологических и 7 гидрохимических постов наблюдения на Красноярском водохранилище.

Сотрудниками СибрыбНИИпроект еще до образования водохранилища был проведен обзорный анализ состава ихтиофауны на участке затопления, рассмотрены пути формирования рыбных запасов. Результаты гидробиологических исследований первых лет были опубликованы в сборнике «Биологические исследования Красноярского водохранилища» вышедшем в 1975 году [10, 13].

В 1977 году О. Л. Ольшанская в соавторстве с рядом ученых, подводя итоги 10-летних (1967-1977 гг.) научных исследований, дали прогноз рыбохозяйственного использования Красноярского водохранилища. В статье были обобщены материалы по видовому составу рыб, их биологическим особенностям, численности и биомассе фито-, зоопланктона и бентоса, кормовым ресурсам. Фактически это была самая большая научная работа СибрыбНИИпроекта по фауне Красноярского водохранилища. В последующие годы интенсивность гидробиологических и ихтиологических исследований

института понизилась из-за прекращения государственного финансирования, а также прихода в мир науки рыночных отношений, когда тематику исследований определяет спрос [10].

В первое десятилетие существования Красноярского водохранилища при участии сотрудников Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт экологии рыбохозяйственных водоемов» ФГБНУ «НИИЭРВ» начались экспедиционные исследования по оценке состояния водных биологических ресурсов с целью освоения популяции видов рыб, ежегодного прогноза общего допустимого улова (ОДУ).

Значительно возросло число исследователей Красноярского водохранилища с открытием Красноярского государственного университета (КГУ). Сотрудники и студенты университета во главе со И. И. Смольяновым с первых дней заполнения водохранилища выполняли обширные рыбоводно-акклиматизационные разработки, изучали размножение, развитие, питание и систематику рыб. Преемником его стал Е.А. Штейнберг, который помог заложить основы ихтиологических исследований в Красноярском университете [13]. Во второй половине 1970-х годов расширился круг работ гидробиологического цикла, кафедра гидробиологии и ихтиологии КГУ начала проводить полнопрограммный экологический мониторинг Красноярского водохранилища, в основные задачи которого входили: сбор информации о биоте (бактерии-, фито-, зоопланктон, перифитон, зообентос и рыбы), определение флуоресцентным методом продукции органического вещества планктона и оценка токсичности природных вод по биотестам. В результате долгосрочных регулярных наблюдений в период 1978-2001 гг. была разработана схема универсальной гидробиологической базы «Биота», построена оптимальная информационная модель экосистемы Красноярского водохранилища с целью оценки и прогноза состояния водного объекта [10, 32].

С 1 августа 1980 г. в Красноярском УГКС приказом №212, на базе действующих сетевых наблюдательных подразделений, занимающихся работами в области мониторинга окружающей среды, был организован Центр по изучению и контролю загрязнения природной среды, в настоящее время Территориальный Центр по мониторингу загрязнения окружающей среды, который осуществляет гидрологические и гидрохимические наблюдения на Красноярском водохранилище. На сегодняшний день, ввиду недостаточного финансирования, количество постов наблюдения Центра сокращено - гидрологических до 11, гидрохимических до 2.

В 1981 году постановлением научного совета Красноярского краевого комитета КПСС совместно с президиумом Красноярского филиала Сибирского отделения АН СССР была утверждена комплексная научно-техническая программа «Чистый Енисей». Все функции главной организации по разработке и реализации программы были возложены на Институт биофизики СО АН СССР. За Красноярским государственным университетом по данной программе были закреплены верхнеенисейские водохранилища (Красноярское и Саяно-

Шушенское) [13].

В соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 31.12.2008 г. № 2054-р Красноярское водохранилище в составе с Саяно-Шушенским и Майнским водохранилищами на р. Енисей, находящиеся на территории Енисейского бассейнового округа, включены в перечень водохранилищ, осуществление мер, по охране которых относится к полномочиям органов государственной власти Российской Федерации. В соответствии с «Положением о ведении государственного мониторинга водных объектов», проведение государственного мониторинга Красноярского водохранилища координируется территориальным органом Федерального агентства водных ресурсов межрегионального уровня - Енисейским бассейновым водным управлением, одной из основных функций которого является ведение государственного мониторинга водных объектов по количественным и качественным показателям состояния водных ресурсов.

Енисейское БВУ ежегодно разрабатывает программу государственного мониторинга за счет средств [федерального бюджета](#). В «Бассейновой программе мониторинга поверхностных водных объектов, состояния дна, берегов водных объектов....» заложена конечная задача: оперативное получение информации, оценка и прогнозирование изменений состояния водных объектов, количественных и качественных показателей состояния водных ресурсов с целью использования этих результатов планирующими, хозяйственными и контролирующими органами. Разработанная программа мониторинга представляет собой оптимальный с эколого-экономической и информационной точки зрения вариант организации наблюдений за состоянием крупнейших водохранилищ Енисейского каскада ГЭС, в том числе Красноярского водохранилища [14].

В системе Росводресурсов под руководством Енисейского БВУ мониторинг Красноярского водохранилища осуществляют Федеральное государственное учреждение «Управление эксплуатации Красноярского водохранилища» и Федеральное государственное учреждение «Енисейрегионводхоз», выполняющие большой объем организационно-контрольных работ за состоянием данного водного объекта, благоустройством его акватории и берегов.

В рамках Программы регулярных наблюдений за Красноярским водохранилищем и его водоохраной зоной ФГУ «Управление эксплуатации Красноярского водохранилища» с 2008 года осуществляет следующие наблюдения:

- за состоянием берегов и акваторией водохранилища;
- за состоянием дна и изменениями морфометрических особенностей водохранилища;
- за состоянием и режимом использования водоохраных зон и прибрежной защитной полосой водохранилища;
- за устьевыми участками притоков (заливы);



- за водохозяйственными системами.

ФГУ «Енисейрегионводхоз» с 2010 года осуществляет наблюдение за качеством вод по гидрохимическим показателям и за загрязненностью донных отложений Красноярского водохранилища, а также производит сбор, обработку, хранение, обобщение, анализ и передачу полученной информации на уровень Росводресурсов. В 2010 году на его базе осуществлялись разовые измерения качества воды водохранилища в целях отработки методик гидрохимических исследований для подготовки гидрохимической лаборатории к аккредитации. С 2011 года были начаты и ведутся по настоящее время регулярные наблюдения за состоянием поверхностных вод Красноярского водохранилища. Немного позднее Федеральной службой по аккредитации (Росаккредитация) была аккредитована Гидрохимическая лаборатория, получившая Аттестат аккредитации RA.RU.518213 от 30 октября 2015 года. В области аккредитации лаборатории – отбор проб и выполнение количественного химического анализа (КХА) различных объектов контроля: поверхностных, подземных, очищенных сточных и сточных вод, донных отложений и почв [21].

В настоящее время Енисейское бассейновое водное управление и Федеральное государственное бюджетное учреждение «Енисейрегионводхоз», отвечающие за ведение государственного мониторинга водных объектов по количественным и качественным показателям состояния водных ресурсов, осуществляют организацию комплексных наблюдений за состоянием крупнейших водохранилищ Енисейского каскада ГЭС, в том числе Красноярского водохранилища.

## **2.2 Географическое положение и основные характеристики водохранилища**

На территории Красноярского края находятся 6 водохранилищ гидроэнергетики (приложение А). Водные ресурсы р. Енисей зарегулированы Енисейским каскадом гидроузлов, включающим Саяно-Шушенскую, Майнскую и Красноярскую ГЭС. Общий объем зарегулированных ресурсов в водохранилищах каскада ГЭС составляет 104,7 км<sup>3</sup>, полезный объем – 38,3 км<sup>3</sup>, общая площадь водохранилищ каскада ГЭС – 2632,5 км<sup>2</sup>. Водные объекты размещены на территории нескольких субъектов Российской Федерации в бассейне реки Енисей и имеют комплексное назначение (водные ресурсы водоемов используются для нужд энергетики, водного транспорта, коммунального хозяйства, ирригации, а также в рекреационных целях).

Красноярское водохранилище, расположенное в верхней части среднего течения реки Енисей (55°06'35" с. ш. 91°34'38" в. д.), создано при строительстве Красноярской ГЭС, введенной в эксплуатацию в 1967 году.

Красноярское водохранилище вытянуто в меридиональном направлении с севера на юг вдоль русла Енисея почти на 396 километров от места впадения в Енисей реки Абакан в районе г. Абакан до плотины Красноярской

ГЭС вблизи г. Дивногорска (табл. 2, рис. 1). Начиная от плотины, участок водохранилища на протяжении 68 км, расположен в узком каньоне - месте, где Енисей пересекает Красноярский кряж Восточного Саяна, по левобережью которого расположено Курбатово-Сырское белогорье, а по правобережью - Манское белогорье.

**Таблица 2 - Основные характеристики Красноярского водохранилища [20]**

| Наименование                  | Река   | Местонахождение<br>(км от устья,<br>населенный пункт) | Наименование<br>субъектов<br>Российской<br>Федерации | Год<br>заполнения | Назначение                      |
|-------------------------------|--------|---|--|-------------------|---------------------------------|
| Красноярское<br>водохранилище | Енисей | 2502,<br>г. Дивногорск                                | Красноярский край,<br>Республика Хакасия             | 1970              | Гидроэнергетика,<br>судоходство |

Заполнение водохранилища осуществлялось в течение четырех лет до 1970 года (уровень воды достиг НПУ=243 м). Анализ всех характеристик экосистемы, отсчет времени функционирования водохранилища осуществлен с 1970 года (1970 г. - первый год, 2018 г. – сорок девятый год функционирования). Оно является одним из крупнейших по объему искусственных водоемов в мире, полный и полезный объем водных масс составляет 73,3 и 30,4 км<sup>3</sup> соответственно, площадь водного зеркала при НПУ около 2000 км<sup>2</sup> (табл. 3). Средняя ширина водоема – 5,3 км, наибольшая в районе Краснотуранского плеса – 15 км, минимальная – 2,5 км в предплотинном районе. Максимальная глубина на Приплотинном плесе - 110 м, средняя глубина по водохранилищу - 36 м. Средняя высота уреза воды 243 м над уровнем моря, уровень воды при УМО (уровень мертвого объема) составляет 225 м, сработка уровня составляет 6-20 м. Коэффициент водообмена 1,4 (каждые 10 месяцев). На глубины до 10 м приходится 16% от всей площади, 10-30 м - 28%, 30-40 м -12%, более 40 м - 44%. Протяженность береговой линии при НПУ составляет 2560 м. Наибольшая изрезанность берегов характерна для правобережья [8, 9].

Водоохранилище относится к категории предгорных водоемов долинного типа, расположено в двух ландшафтных зонах: южной - лесостепной и северной - горно-таежной. Его форма определяется сложностью рельефа затопленной суши.

При создании Красноярского водохранилища были затоплены земли Емельяновского, Балахтинского, Даурского, Новосёловского, Краснотуранского и Минусинского районов Красноярского края, Богградского и





Рисунок 1 - Карта-схема Красноярского водохранилища [11]



Усть Абаканского районов Республики Хакасия. В зону затопления попало 132 населенных пункта. Всего было переселено 60 тыс. человек, перебазировано несколько десятков предприятий, перенесено почти 14 тыс. строений.

Таблица 3 - Основные параметры Красноярского водохранилища [20]

| Наименование параметров  | Единицы измерения | Значение |
|--|-------------------|----------|
| Нормальный подпорный уровень, НПУ  | м                 | 243,0    |
| Максимальный допустимый уровень (форсированный подпорный), ФПУ                               | м                 | 243,5    |
| Уровень принудительной предполоводной сработки по состоянию на 1 мая, УПС                    | м                 | 233,0    |
| Минимальный навигационный уровень (по условию подхода к судоподъемнику), УМО рекомендованный | м                 | 230,0    |
| Минимальный допустимый уровень (мертвого объема), УМО проектный                              | м                 | 225,0    |
| Объем при НПУ  | км <sup>3</sup>   | 73,3     |
| Объем при УМО 225 м  | км <sup>3</sup>   | 42,9     |
| Объем при УМО 230 м  | км <sup>3</sup>   | 50,4     |
| Полезный объем при УМО 225 м   | км <sup>3</sup>   | 30,4     |
| Полезный объем при УМО 230 м   | км <sup>3</sup>   | 22,9     |
| Площадь зеркала при НПУ  | км <sup>2</sup>   | 2000,0   |
| Площадь зеркала при УМО 225 м  | км <sup>2</sup>   | 1382,0   |
| Площадь зеркала при УМО 230 м  | км <sup>2</sup>   | 1555,0   |
| Длина водохранилища при НПУ  | км                | 396,0    |
| Длина водохранилища при УМО 230 м  | км                | 302,0    |
| Ширина средняя при НПУ   | км                | 5,3      |
| Ширина максимальная при НПУ  | км                | 15,0     |
| Глубина средняя при НПУ  | м                 | 36,0     |
| Глубина максимальная при НПУ   | м                 | 110,0    |
| Протяженность береговой линии при НПУ  | км                | 2560,0   |

Работы по подготовке ложа водохранилища начались еще в 1957 году. Главной проблемой создания водохранилища на р. Енисей являлась недостаточная подготовка ложа водного объекта к затоплению, отсутствие лесосводки, лесоочистки. Около 80% всей площади водохранилища пришлось на затопленную сушу, из которой 21% был занят лесами.

В процессе наполнения водохранилища было затоплено 38 тыс. га леса и кустарников, 120 тыс. га сельскохозяйственных земель (табл. 4). Под воду ушли различные типы почв, особенно широко на затопленном ложе были представлены дерново-подзолистые, луговые, серые лесные почвы и черноземы. Процесс заиливания водохранилища происходит очень медленно и продолжается по настоящее время.

Таблица 4 - Результаты затопления земель Красноярским водохранилищем [27]

| Показатель                                      | Красноярское водохранилище |
|---|----------------------------|
| Площадь затопления, тыс. га                     | 175                        |
| В том числе:                                    |                            |
| - сельскохозяйственные угодья                   | 120                        |
| - лес и кустарники                              | 38                         |
| Запас, тыс. м <sup>3</sup>                      |                            |
| - товарных насаждений                           | 470                        |
| - ликвидный                                     | 440                        |
| Площадь лесосводки и лесоочистки, тыс. га       | 13                         |
| Объем лесосводки, тыс. м <sup>3</sup>           | 440                        |
| Проектный объём затопления, тыс. м <sup>3</sup> | 300                        |
| Реальный объем затопления, тыс. м <sup>3</sup>  | 470                        |
| Объем плавающей древесины, тыс. м <sup>3</sup>  | 100                        |

Лесоочистные работы были выполнены на площади около 13 тыс. га. Фактически вырублено 470 тыс. м<sup>3</sup> товарного леса. Объем плавающей древесины на 1984 год, по данным Гидролестранса, составлял 300 тыс. м<sup>3</sup>, ежегодно в водохранилище вследствие переработки берегов дополнительно поступает около 6 тыс. м<sup>3</sup> древесины. Переработка берегов носит нарастающий характер [2, 10].

В водохранилище впадают несколько достаточно крупных рек, наиболее известные из которых: по правому берегу - Туба, Сисим, Сыда, по левому – Бирюса. В результате создания этого искусственного водоема география района очень сильно изменилась: многие реки, впадающие в Енисей, оказались подтопленными, и их устья создали множественные заливы.

С учетом сложности рельефа ложа, наличия стоковых течений и других гидрологических характеристик на Красноярском водохранилище условно выделены верхняя, средняя и нижняя его части. Верхняя часть водохранилища простирается от г. Абакана до п. Батени. Левый берег в этой части преимущественно пологий, для правого характерны выходы коренных пород. Крупные заливы этой части - заливы рек Туба и Сыда. При анализе экосистемы в рамках верховья выделяются плесовые расширения – Усть-Абаканский, Моховский, Краснотуранский плесы. Наибольшая ширина открытых плесов достигает 15 км, глубины составляют 6-36 м [11, 19].

Средняя часть (от пос. Батени до залива Огур) располагается в пределах Енисейско-Чулымской котловины, отрогов Минусинской впадины и Восточных Саян. В этой части наблюдается наибольшее разрушение берегов, сложенных легко разрушаемыми породами. Выделяются Новоселовский и Приморский плесы (максимальная ширина до 14 км). Глубины достигают 34-70 м. В месте впадения рек расположены заливы Сисим, Кокса, Черный, Кома. Нижняя часть водохранилища находится в пределах Восточных Саян и

имеет фьордообразные заливы (Огур, Дербинский, Бирюсинский.). Она включает в себя плесы Щетинкинский и Приплотинный. Участок в 60 км перед плотиной ГЭС имеет ширину не более 2,5 км, глубины варьируют от 85 до 110 м.

### 2.3 Гидрологический режим

Движение водных масс водохранилища обусловлено преимущественно стоком через ГЭС, ветровым режимом, сезонными циркуляциями вод. По сравнению с речными условиями до момента формирования водохранилища скорость стокового течения уменьшилась в 10 раз. Отмечена характерная закономерность: вдоль оси водоема показатели скорости течения воды постепенно снижаются от зоны подпора (0,14 м/с) до плотины (0,02-0,05 м/с).

Характер поведения уровня воды Красноярского водохранилища обусловлен, главным образом, режимом работы Красноярской ГЭС и величиной притока воды в водохранилище. Осуществляя сезонное регулирование стока, Красноярская ГЭС ежегодно заполняет водохранилище до определенной отметки и затем в течение нескольких месяцев опорожняет его [1, 20].

В годовой динамике уровневого режима выделяются три фазы: 1) весеннего наполнения; 2) летне-осеннего; 3) осенне-зимней сработки.

Начало весеннего наполнения связано с началом половодья на Енисее и его основных притоках. Подъем уровня воды начинается как только величина притока становится больше величины отдачи ГЭС в нижней бьеф. Продолжительность фазы весеннего наполнения зависит не столько от величины объема суммарного притока воды в водохранилище, сколько от интенсивности этого притока, колеблется эта фаза в пределах 74-140 дней, интенсивность наполнения до 90 см/сут., средняя - 17 см/сут.

Фаза летне-осеннего стояния характеризуется равенством величины притока в верхний бьеф и отдачей ГЭС, либо их весьма близкими значениями. На этой фазе наблюдаются максимальные значения уровней. Продолжительность этой фазы 80-90 дней, средняя величина изменения уровня 2 см/сут.

Фаза осенне-зимней сработки характеризуется большой величиной отдачи воды ГЭС через плотину по сравнению с притоком. По времени эта фаза примерно совпадает с периодом межени на Енисее и притоках. За начало принимается окончание хаотических колебаний уровня и начинается его непрерывный спад. Максимальные и средние суточные изменения уровня на фазе сработки составляют 21 (что на 3 метра превышает проектную) и 8 см соответственно [11, 20].

Основной вклад в долю приходной составляющей водного баланса несут реки Енисей, Абакан, Туба (90-95%). Менее 6% приходится на боковую приточность в водохранилище, 2-4% составляют осадки, стаявший лед и

фильтрация. В расходной части 95-97 % приходится на сброс через гидроузел и 3-5% на испарение и фильтрацию. Характер регулирования, водность рек, выпадающих в водохранилище, влияют на соотношение элементов водного баланса в различные годы.

## 2.4 Гидротермический режим

В целом годовой термический цикл воды Красноярского водохранилища соответствует циклу глубоководных водоемов и подразделяется по классификации А. И. Пеховича на 5 периодов: весеннее нагревание, летнее прогревание, летне-осеннее охлаждение, осенне-зимнее охлаждение и период низких температур под ледяным покровом [48].

Для развития биотической составляющей экосистемы водоема наиболее значимые - периоды летнего прогревания и летне-осеннего охлаждения, т. е. это вегетационный период, охватывающий в Красноярском водохранилище июнь-август. Пространственно-временная амплитуда колебаний средней температуры воды у поверхности в июне-августе в целом невелика и находилась в диапазоне от 14 до 20°C. В распределении температуры по длине (верхняя, средняя, нижняя части) водохранилища за весь период исследований четкой закономерности не отмечено [10, 11, 48]. Максимальная температура в верховье изменялись в пределах 16,35-17,46°C, по оси водохранилища температурные показатели варьировали в верховье в пределах 16,22-21,7°C и нижней части водоема – 14,32-18,7°C.

Гидротермический режим нижнего бьефа Красноярской ГЭС полностью определяется ходом термических процессов, происходящих в водохранилище. Годовой термический цикл реки ниже плотины можно разделить на два периода: нагревания и охлаждения. Процесс нагревания наступает с момента установления весенней гомотермии в водохранилище у плотины (середина мая), переход температуры воды через 4°C весной происходит, в основном, во второй декаде июня, наибольшие показатели температуры воды, поступающей из водохранилища, наблюдаются в августе и достигают 12-14°C. С этого момента начинается постепенное понижение температуры воды и через 4°C температура воды переходит в первой половине декабря. Наименьшая температура воды наблюдается в конце марта и составляет 1,6-3°C.

Температура воды в нижнем бьефе у плотины характеризуется как внутри суточными изменениями, амплитуда которых может превышать 1°C, так и более длительными, продолжительностью до 10-13 суток, понижение значений которых достигает 4°C. Очевидно, эти колебания определяются динамическими процессами происходящими в Красноярском водохранилище (сгонно-нагонные явления, внутренние волны, макротурбулентность и др.). Период этих колебаний можно приблизительно оценить в 20-25 суток. Характерно, что изменения температуры воды в нижнем бьефе у плотины

ГЭС внутри суток не зависят от температуры воздуха и определяются только процессами, происходящими в толще водной массы водохранилища [6, 48].

В результате сопоставления температуры воды в приплотинной части Красноярского водохранилища и в нижнем бьефе ГЭС видно, что в условиях эксплуатации ГЭС в водозаборные отверстия вовлекается вода практически из всей водной толщи водоема, и даже при работе водослива эта закономерность не нарушается. Также существует зависимость между температурой воды в нижнем бьефе у плотины Красноярской ГЭС и средней температурой воды по глубине на приплотинном участке водохранилища. Зависимость определяется тремя периодами: нагревания (июнь-август), охлаждения (август-декабрь) и ледостава на Красноярском водохранилище.

Многочисленные измерения, проведенные в нижнем бьефе показали, что распределение температуры воды по глубине в условиях интенсивного турбулентного перемешивания близко к изотермическому, разность температуры воды по глубинам редко достигает  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Установлена также зависимость между температурой воды, поступающей из водохранилища в нижний бьеф, и температурой воды, измеряемой на посту у Дивногорска. Из-за особенностей термического режима глубоководной части Красноярского водохранилища переход температуры воды в Енисее у плотины ГЭС через  $4^{\circ}\text{C}$  по сравнению с естественным режимом задерживается на 1-1,5 месяца весной (первая-вторая декада июня) и осенью (начало декабря) [48].

В результате зарегулирования реки в ноябре в нижний бьеф поступает вода из водохранилища с температурой  $10-6^{\circ}\text{C}$ , а в середине декабря -  $4^{\circ}\text{C}$ , в январе -  $3,8-3,2^{\circ}\text{C}$ , в феврале -  $0,4-3^{\circ}\text{C}$ . Замерзание Енисея происходит посредством образования ледяных перемычек, повышения уровня воды, уменьшения уклонов на кромке льда и как следствие смерзания поступающего с верхних участков реки ледяного материала (шуги). При этом процесс замерзания Красноярского водохранилища на р. Енисей происходит сверху вниз. Но при продолжительных ветрах на водохранилище последним замерзает участок длиной 40 км от Приморска (115 км от плотины ГЭС) до Вознесенки (65 км от плотины ГЭС). Начало ледостава в верхнем районе водохранилища приходится на первую декаду ноября, в нижнем - первую декаду декабря. Продолжительность периода замерзания Красноярского водохранилища, в среднем, составляет 35 суток. Толщина ледяного покрова уменьшается от зоны выклинивания подпора к плотине.

Вскрытие и освобождение ото льда происходит в третьей декаде апреля и первой половине мая соответственно. Очищение водохранилища начинается в верховье, затем на приплотинном участке и заканчивается в средней части, где зимой происходит повсеместное образование снежного льда. При зимних сработках уровня воды ледяной покров оседает на берега. На Красноярском водохранилище площадь осевшего льда достигает  $542 \text{ км}^2$ , а максимальный объем воды, заключенный во льду на берегах, равен  $0,37 \text{ км}^3$  [10, 48]. Основное поступление воды ото льда, осевшего на берегах



Красноярского водохранилища, происходит за счет его таяния. В отдельные годы только средний за декаду апреля приток воды за счет таяния льда на берегах составляет 150 м/с (в отдельные дни может превышать 400 м/с), или 8% общего притока воды в водохранилище.

## 2.5 Гидрохимический режим

Анализ гидрохимического режима Красноярского водохранилища, проводится по материалам Красноярского управления Гидрометслужбы (совместные работы, гидрохимический бюллетень, Енисейского бассейнового управления (лаборатории г. Красноярска и г. Абакана), Красноярского госуниверситета университета (в настоящее время Сибирского федерального университета).

Для водохранилища отмечен сезонный характер солевого состава вод Красноярского водохранилища. Максимальной величины минерализация воды в водохранилище достигает в начале весны и в зимний период (до 140-160 мг/л), когда вода сбрасывается до наименьших отметок. В весенне-летний период уровень минерализации снижается до 50-85 мг/л в поверхностном слое, в придонном горизонте выше до 10-20 мг/л. В конце лета - осенью минерализация возрастает до 73-105 мг/л, при этом величина ее по глубинам водохранилища не меняется. Вода характеризуется как слабоминерализованная, мягкая, относится к гидрокарбонатному классу кальциевой группы. Жесткость воды водоема подвержена сезонным колебаниям (от 5,5°Ж зимой до 1,1°Ж летом) [8, 20].

Газовый режим в Красноярском водохранилище имеет сезонный характер и определяется в течение года температурным режимом, водообменом и концентрацией органических веществ. Средневегетационные показатели содержания кислорода в воде за период исследований варьировали от 7,2 до 14 мг/л. В верхнем районе водохранилища среднее содержание кислорода составляет 8,7 мг/л, в среднем районе - 9,4 мг/л, в нижнем участке - 9,3 мг/л. В поверхностных горизонтах концентрация кислорода не снижается ниже 7 мг/л, у дна - 4 мг/л. В течение года наименьшие значения концентрации кислорода отмечены в середине - конце вегетационного периода, что связано с прогревом вод и развитием водорослей; максимальные - зимой. Содержание свободной углекислоты неоднозначно как по акватории водохранилища, так и по глубинам. Максимальные величины (10-11 мг/л) зарегистрированы у дна в летний период в районе Усть-Абакана. В поверхностных слоях за счет фотосинтеза содержание углекислоты уменьшается, это явление хорошо просматривается на эвтрофированном Краснотуранском плесе, где в августе концентрация углекислоты может составлять 0,5 мг/л.

В распределении средневегетационных величин прозрачности по длине Красноярского водохранилища отмечено закономерное возрастание от верховья к плотине: минимум 1,47 м - в верховье, максимум 6,6 м - в низовье

Активная реакция воды водохранилища в среднем слабощелочная, варьирует в диапазоне от 7,25 до 7,85. Максимальная величина – 8,2 зарегистрирована у с. Абакано-Перевоз.

Содержание биогенных элементов в Красноярском водохранилище незначительно. Среди них наиболее высокое содержание имеет кремний 1,2-8,3 мг/л. За период становления водохранилища по абсолютному значению уменьшается содержание катионов (что может быть следствием затухания процессов выщелачивания солей из грунтов) [8, 19].

Бихроматная окисляемость в наибольших концентрациях (17,8-21,8 мг/л) отмечена в районе ниже очистных сооружений ПКСО. В поверхностных горизонтах варьирует в пределах 2,0-17,8 мг/л. Наибольшие колебания регистрируются в верховье и в среднем районе - в августе, в приплотинном - осенью.

Биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>) максимально в районе ниже очистных сооружений ПКСО (8,7-11,3 мг О<sub>2</sub>/л).

Взвешенное органическое вещество (ВОВ) определяет многие биологические, физико-химические и гидробиологические природные процессы. Общее количество ВОВ и соотношение его компонентов - важные показатели трофности, продуктивности водоемов, их рыбохозяйственной ценности и качества вод. В целом по водохранилищу содержание ВОВ варьирует в пределах 3,4-18,6 мг О<sub>2</sub>/л. Максимальное его содержание отмечается в заливе Сыда -17,5 мг О<sub>2</sub>/л [8, 19]. Значительные концентрации могли быть вызваны загрязнением хозяйственно-бытовыми и промышленными стоками, поступлением органического вещества с водосборной площади.

## 2.6 Гидробиологический режим

Фитопланктон. В составе водорослей Красноярского водохранилища зарегистрировано 239 таксонов, включая бентосные формы. Отделы диатомовых представлены: таксонами - 116, зелеными - 80, синезелеными - 29, золотистыми и пиррифитовыми - 5, эвгленовыми - 4. С 10-12 гг. функционирования водохранилища появилась тенденция к обеднению видового состава фитопланктона.

Наибольшее видовое разнообразие характерно для верховья водохранилища (H=0,1-3.2 бит), где развиты реофильный и лимнофильный комплексы водорослей, в основном представители pp. Cyclotella, Diatoma, Nitschia. В средней части водохранилища преобладают диатомовые: Ankistrodesmus pseudomirabilis Korschik, Asterionella formosa Hass. К низовью индекс видового разнообразия снижается (H=0.25-2.06 бит). Основу

составляют лимнофильные виды. На долю диатомовых приходится 95% от общей численности. В сезонной динамике видового состава зарегистрировано снижение биоразнообразия от июня к августу. Максимальные значения плотности фитоценозов обусловлены развитием синезеленых и диатомовых водорослей. В августе большинства лет зарегистрировано «цветение» вод практически по всей акватории водоема за счет синезеленых водорослей. Основным агент «цветения» - *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs [10, 64].

В сезонной динамике структурных характеристик фитопланктона стабилизировался общебиологический цикл: численность диатомовых от июня к августу снижается (в 4-5 раз); синезелёных возрастает (в 15-1000 раз). Пик развития фитопланктона совпадает с максимальным уровнем наполнения водохранилища и наибольшим прогревом воды. Глубоководность водоема определяет специфику вертикального распределения водорослей: по всем районам плотность фитоценоза в кубометре нетрофогенного столба воды существенно выше, чем в трофогенном. В межгодовой динамике за период исследований варьирование численности фитопланктона составляет 519-57261 млн.кл/м<sup>3</sup> и биомассы 444-5990 мг/м<sup>3</sup>. Трофический статус водохранилища, установленный по величинам биомассы фитопланктона, колеблется от олиготрофного уровня до гиперэвтрофного. Первичная продукция планктона в Красноярском водохранилище в среднем за вегетационный сезон составляет 14,6-16,9 ккал/м<sup>3</sup>сут. Интенсивнее органическое вещество продуцируется в эпилимнионе средней части водохранилища. Большую роль в формировании первичной продукции планктона водохранилища играют заливы, где в отдельные годы продуцируется до 74% органического вещества водоема. Деструкция органического вещества планктоном в среднем составляет 25,9 ккал/м<sup>3</sup>сут, в 1,7 раза превышая значения первичной продукции [32].

Качество воды Красноярского водохранилища по индексу сапробности и комплексу структурно-функциональных показателей фитопланктона оценивалось в среднем II-III классами (вода «чистая» – «умеренно загрязненная»). В течение 25-го периода функционирования водохранилища оно неизменно соответствовало III классу β-мезосапробной зоны по всем плесовым районам, в последующие годы оно улучшилось до II класса α-олигосапробной зоны. Наиболее неблагоприятная обстановка зарегистрирована в верхней (Краснотуранский плес), где в годы максимального развития синезеленых водорослей качество воды оценивалось IV классом (вода «загрязненная»). По комплексу массовых видов фитопланктон Красноярского водохранилища прошел все сукцессионные стадии: от олиготрофии в начале функционирования до эвтрофной стадии в 1991-1993 гг., затем вновь перешел в стадию мезотрофии. В настоящее время трофический статус водохранилища соответствует мезотрофному типу с чертами эвтрофии [10, 54].

Бактериопланктон. Преобладающей формой микроорганизмов водохранилища являются кокки (94%). При увеличении содержания органического вещества антропогенного характера возрастает число палочек. Соотношение морфологических форм кокковидных и палочковидных составляет в разные годы от 5:5 до 9:1. Средневегетационная численность бактериального населения варьирует от 1,5 до 4,5 млн.кл/мл, биомасса от 0,6 до 3,5 г/м<sup>3</sup>. Максимальные значения плотности бактериопланктона в большинстве лет отмечены в верхнем районе (5,4 млн.кл/мл), минимальные - в нижнем (1,0 млн.кл/мл). Вертикальное распределение бактериального населения варьирует по сезонам: в июне бактерии распределяются равномерно, либо с максимумом у поверхности; в июле - с максимумом у поверхности или гипolimнии; в августе наибольшая численность бактериопланктона зарегистрирована в мета- и гипolimнии. Численность гетеротрофных бактерий в среднем за вегетационный период изменяется от 0,7 до 19,6 тыс.кл/мл. Максимум численности гетеротрофов наблюдается в августе. Скорость потребления кислорода одной бактериальной клеткой за час высока по всей акватории водохранилища (6,4×10<sup>-12</sup> мгО<sub>2</sub>/кл·ж). Средневегетационные значения продукции бактериопланктона изменяются от 0,3 до 1,9 кал/м<sup>3</sup>сут. Меньшие значения продукции совпадают с высоким временем удвоения (85 часов), а большие - с низким (28 часов) при равной общей численности бактериопланктона 2,2 млн.кл/мл. Средний показатель микробиологической деструкции органического вещества варьирует от 1,7 до 14,4 кал/м<sup>3</sup>сут. Красноярское водохранилище по общей численности бактериопланктона оценивается как эвтрофный водоем с мезотрофными участками. По средним показателям численности бактериопланктона водоем в целом оценивается III классом качества (вода «умеренно загрязненная», «малотоксичная») [10, 13, 32].

Зоопланктон. В видовой структуре зоопланктона Красноярского водохранилища отмечен процесс упрощения: в первые годы существования водохранилища зарегистрировано 109 видов, в конце второго десятилетия - 67 видов и форм. Для верховья водохранилища в июне в течение всех изученных лет характерен каловратно-кладоцерный комплекс. Преобладают *Synchaeta* sp., *Conochilus unicornis* Rousselet. Индекс видового разнообразия имеет максимальное значение - H=1,5 бит. На среднем и нижнем участках водохранилища развивается коловратно-копеподный комплекс, с доминантами *Kellikottia longispina* Kellicott, *Keratella quadrata* (O.F.Muller), *Bosmina longirostris* (O.F.Muller), р. Cyclops. К июлю, в период прогрева воды, во всех частях водоема увеличивается численность крупных видов кладоцер *Diaphanosoma brachium* (Liev), *Daphnia longispina* (O.F.Muller), особенно на участках «цветения» воды синезелеными водорослями. В августе кладоцеры исчезают или их численность минимальна. Средневегетационная численность зоопланктона изменяется от 12 до 28 тыс.экз/м<sup>3</sup> и варьирует по акватории с максимумом в средней части.

Наименьшее количество зоопланктона (56 тыс.экз/м<sup>3</sup>) отмечено в средней части водохранилища, наибольшее (153 тыс.экз/м<sup>3</sup>) - в верховье. Распределение зоопланктона по вертикали в столбе воды однотипно по всему водоему. В кубометре трофогенного слоя сосредоточено от 60% до 83% общей численности зоопланктона.

Зоопланктон играет важную индикаторную роль в диагностике состояния водных экосистем. Данные биологического анализа качества вод по показателям зоопланктонных сообществ характеризуют Красноярское водохранилище как о-β-мезосапробное. Качество воды по индексу сапробности оценивалось II-III классами (вода «чистая» – «умеренно загрязненная»). По величине биомассы зоопланктона Красноярское водохранилище за период исследования оценивается как олиготрофное с мезотрофными участками [10, 54].

Зообентос. В составе бентофауны Красноярского водохранилища выявлено 326 видов и форм донных беспозвоночных, в том числе хирономид - 177 видов, олигохет - 48, моллюсков - 21. Комплекс видов-доминантов, повсеместно распространенных по водохранилищу, составляют пять видов: *Tubifex tubifex*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Chironomus plumosus*, *Procladius* gr. *ferrugineus*, *Polypedilum* gr. *Convictum*. В формировании донных биоценозов водохранилища выделено два этапа: первый этап, продолжающийся до 10-11 годов функционирования, характеризуется доминированием реофильных и временных комплексов с максимальным видовым разнообразием (H до 4,9 бит), второй - упрощением видовой структуры (H до 3,1 бит), однообразным распределением по бентали, завершением сукцессионных стадий развития [33, 36, 51]. Наиболее сформированными в настоящее время являются биоценозы серых илов и илистых песков, составляющих по обилию более 60% от всей бентофауны. Стадии «мотыля» в Красноярском водохранилище не отмечено. Природные циклы в динамике донных сообществ связаны с характером поступления автохтонного и аллохтонного вещества в водоем. Структура зообентоса существенно варьирует в пространственно-временном аспекте: по оси водохранилища от верховья к плотине упрощается видовая структура (H<sub>верх</sub>=0,7-4,9, H<sub>низ</sub>=0,2-1,4 бит), снижается численность (N<sub>верх</sub>=4,89 тыс.экз/м<sup>2</sup>, N<sub>низ</sub>=2,23 тыс.экз/м<sup>2</sup>); от литорали к профундальной зоне упрощается видовая структура, снижается плотность, зона максимального развития бентофауны соответствует глубинам 10-30 м, от изобат более 40 м повсеместно доминируют *Tubifex tubifex*, *Limnodrilus hoffmeisteri* (N<sub>max</sub>=18,40 и 11,04 тыс.экз/м<sup>2</sup> соответственно) [31, 34, 35].

Донные сообщества, благодаря приуроченности к определенному биотопу, незначительным перемещениям в лимнических, особенно глубоководных экосистемах, и достаточно продолжительному циклу развития, наиболее полно аккумулируют всю поступающую в водоем информацию по загрязнению, являясь одним из существенных компонентов мониторинга Красноярского водохранилища.

Качество воды водоема по индексу сапробности и комплексу структурно-функциональных показателей бентофауны практически на всех участках водохранилища характеризуются как  $\beta$ -мезосапробное (III класс качества вод, вода «умеренно загрязненная»). Исключение составляет Краснотуранском плес (район сброса сточных вод), где значение индекса сапробности соответствует уровню  $\alpha$ -мезосапробной зоны (IV класс качества вод, вода «грязная»). Трофический статус водохранилища по величинам биомассы зообентоса соответствует мезотрофному типу [32, 37].

Ихтиофауна Красноярского водохранилища представлена 23 видами рыб, из которых 18 жилых форм и 5 акклиматизированных. Лещ - *Abramis brama* (Linne), пелядь - *Coregonus peled* (Gmelin), омуль байкальский - *Coregonus migratorius* Georgi и ряпушка озерная - *Coregonus sardinella* Var. внесены после создания водохранилища, карп - *Cyprinus carpio* (Linne) проник в него из озер юга Красноярского края по системе малых рек и ручьев. Видовая структура фауны рыб на 95.5% состоит из представителей лимнофильного комплекса. Реофилы не нашли необходимых условий для размножения и встречаются только в притоках водохранилища, зоне подпора, затопленных руслах реки Енисей выше подпора. Доминирующие виды: окунь - *Perca fluviatilis* (Linne), плотва сибирская - *Rutilus rutilus lacustris* Pallas, лещ - *Abramis brama*, распространенные по всей акватории водохранилища. Плотва сибирская является основой промысла и составляет 63-96% от общего вылова. Основные места обитания перечисленных видов - заливы, прибрежные участки плесов. Нерестятся в верховье водохранилища в конце мая - начале июня, в средней и нижней частях водоема с опозданием на 8-10, реже 20 дней (на глубине 2-4 м у берега). Начало нереста определяется в первую очередь уровнем режимом и температурой воды. Особи младших возрастных групп обитают в июле - августе преимущественно в прибрежной зоне на глубине 10 м.

Наибольшие показатели индивидуальной и относительной плодовитости характерны для леща и варьируют от 36 до 265 и от 57 до 126 икринок на грамм массы тела соответственно. Большое влияние на репродукцию рыб оказывает уровень воды в водохранилище. При его сработке осушаются мелководья и фитофильные виды (плотва, лещ) лишаются нерестового субстрата. В питании молоди плотвы и леща преобладают веслоногие и ветвистоусые рачки (до 64% по массе). Молодь окуня потребляет как планктонных рачков (64%), так и личинок хирономид (до 53% в заливе Сыда) [10].

В последние годы увеличилась инвазия леща и плотвы ремнецом *Ligula intestinalis* Linnaeus, окуня и других хищных рыб - лентецом широким *Diphyllbothrium latum* Linnaeus (49% зараженных) и нематодой *Cammallanus lacustris* Zoega (63%). У рыб отмечены патологические изменения в крови - выход ядер и гемоглобина из клеток, амитотическое деление эритроцитов. Подобные изменения встречаются в основном у видов, обитающих в

загрязненных районах [30, 62]. Содержание хлорорганических пестицидов в тканях тела рыб не превышает допустимую остаточную концентрацию. В тканях рыб регистрируются продукты распада гербицидов.

### **3 Основные источники загрязнения Красноярского водохранилища**

Характер антропогенных воздействий на водохранилищах Енисейского каскада неоднозначен. На Красноярском водохранилище преобладают загрязнения от хозяйственно-бытовых, промышленных, сельскохозяйственных стоков, водного транспорта.

Крупнейшими населенными пунктами, расположенными на берегу Красноярского водохранилища, являются районные центры: Краснотуранск (Красноярский край), расположенный на берегу Сыдинского залива, Новоселово (Красноярский край), Усть-Абакан (Хакасия).

Краснотуранский район расположен на юге Красноярского края в центре Минусинской котловины, на правом берегу Красноярского водохранилища. На севере район граничит с Новоселовским районом, на востоке - с Идринским и Курагинским районами и на юге - с Минусинским районом. Регион имеет благоприятные условия для земледелия, поэтому основу экономики района составляет сельское хозяйство. В целом экономика района представлена предприятиями сельскохозяйственной отрасли, перерабатывающей промышленности, транспорта, жилищно-коммунального хозяйства. Полезные ископаемые на территории района представлены месторождениями и проявлениями угля, железа, марганца, свинца, цинка, меди, алюминия, молибдена, золота, урана, флюорита, исландского шпата, фосфоритов, каолина, строительных материалов. Однако район не располагает разведанными сырьевыми ресурсами для развития горнодобывающей промышленности [14].

На территории района расположены 25 населенных пунктов, которые образуют девять сельских поселений. Численность населения - более 17 тыс. чел. Поселок Краснотуранск - административный центр Краснотуранского района, расположенный на юге Красноярского края, на левом берегу Сыдинского залива Красноярского водохранилища. Численность населения составляет 15 тыс. чел. В поселке есть обустроенное жилье и промышленное производство. Вместе с тем существует проблема обеспечения населения питьевой водой, а также проблема очистки стоков. В Краснотуранске очистные сооружения, расположенные на северном склоне левого берега Сыдинского залива Красноярского водохранилища, обслуживают систему канализации Краснотуранского, Лебяжьего, Кортузского, Н-Сыдинского производственных участков и очистные сооружения села Краснотуранск. Общая протяженность канализационных сетей 29 км. Очистные сооружения Краснотуранска построены с отклонениями от проекта и введены в эксплуатацию с недоделками: с момента пуска сооружений не работает биофильтр и, практически, сточные воды только осветляются. Недостаточно очищенные сточные воды отводятся непосредственно в Красноярское водохранилище.



Новоселовский район расположен на юго-западе Красноярского края на границе с республикой Хакасия. Территория, занимаемая районом составляет 3880 км<sup>2</sup>, с юга на северо-восток ее пересекает Красноярское водохранилище и делит на правобережную и левобережную части. Площадь водохранилища в пределах района около 430 км<sup>2</sup>. Длина береговой линии Новоселовского участка Красноярского водохранилища составляет около 260 км. По водохранилищу проходят транспортные сообщения. В теплое время года налажена паромная переправа между левобережной паромной пристанью «Новоселово» и правобережной - «Улазы», действует мощный большой паром морского типа. В зимнее время по льду водохранилища организуется движение транспорта.

Важной особенностью географического положения Новоселовского района является его местонахождение в центре земледельческой части края с благоприятными агроклиматическими ресурсами и плодородными почвами. Наличие благоприятных агроклиматических и земельных ресурсов, обширных пастбищ определило специализацию экономики района - земледелие и животноводство. Кроме того, лесные богатства правобережной части дают возможность для развития лесной отрасли. Крупные месторождения полезных ископаемых в Новоселовском районе отсутствуют. Добываются лишь строительные полезные ископаемые, главным образом, песчаники, граниты, сиениты, применяемые для строительства зданий с бетонными стенами, ремонта и строительства дорог. У юго-восточной границы района на правобережье встречаются месторождения низкокачественного мрамора, разрабатываемые для строительства дорог.

В настоящее время в районе находится 30 населенных пунктов. Население района составляет 15,5 тыс. человек. Село Новоселово является административным центром Новоселовского района и расположено на левом берегу Красноярского водохранилища. Население его составляет 6490 человек. Канализационные очистные сооружения в селе Новоселово были построены в 1985 г. с грубыми отклонениями от проекта и строительным браком, в результате чего с момента запуска их в работу происходит только механическая очистка сточных вод, биологическая не осуществляется, биофильтры не работают. Схема обеззараживания не соответствует проекту. Сточные воды с очистных сооружений отводятся тоже непосредственно в Красноярское водохранилище.

Усть-Абаканский район находится в степи Минусинской котловины в центральной части республики Хакасия на левом берегу Красноярского моря. Площадь района составляет 8880 км<sup>2</sup>. Население района 43,3 тыс. чел. В экономике района основное место занимает сельскохозяйственное производство (животноводство, растениеводство и рыбоводство). Основой промышленности района является добыча полезных ископаемых (золотодобыча) и переработка древесины.

Поселок городского типа Усть-Абакан – является административным центром Усть-Абаканского района. Площадь поселка составляет 4030 га. Численность населения составляет 15,6 тыс. чел. Очистные сооружения Усть-Абакана являются крупнейшими в республике Хакасия. Они производят очистку сточных вод городов Абакан, Черногорск, самого поселка Усть-Абакан, а также расположенных неподалеку небольших населенных пунктов. В сутки через специальное оборудование - решетки, песколовки, отстойники, аэротэнки - проходит до 80 тыс. м<sup>3</sup> стоков. Стоки отводятся в Красноярское водохранилище. В таблице 5 приведено качество и количество отведенных непосредственно в водохранилище стоков в 2017 году.

Таблица 5 - Количество сточных вод отводимых в Красноярское водохранилище [20]

| Район           | Отведено стоков всего, тыс. м <sup>3</sup> | Недостаточно очищенных, тыс. м <sup>3</sup> | %  |
|-----------------|--|---|----|
| Краснотуранский | 264  | 249   | 94 |
| Новосёловский   | 156  | 148   | 95 |
| Усть-Абаканский | 24557                                      | 13674                                       | 56 |

На рисунках 2 и 3 показана структура загрязняющих веществ, отводимых в Красноярское водохранилище, представленная по данным государственной статистической отчетности 2-ТП (Водхоз) Енисейского бассейнового водного управления [20].

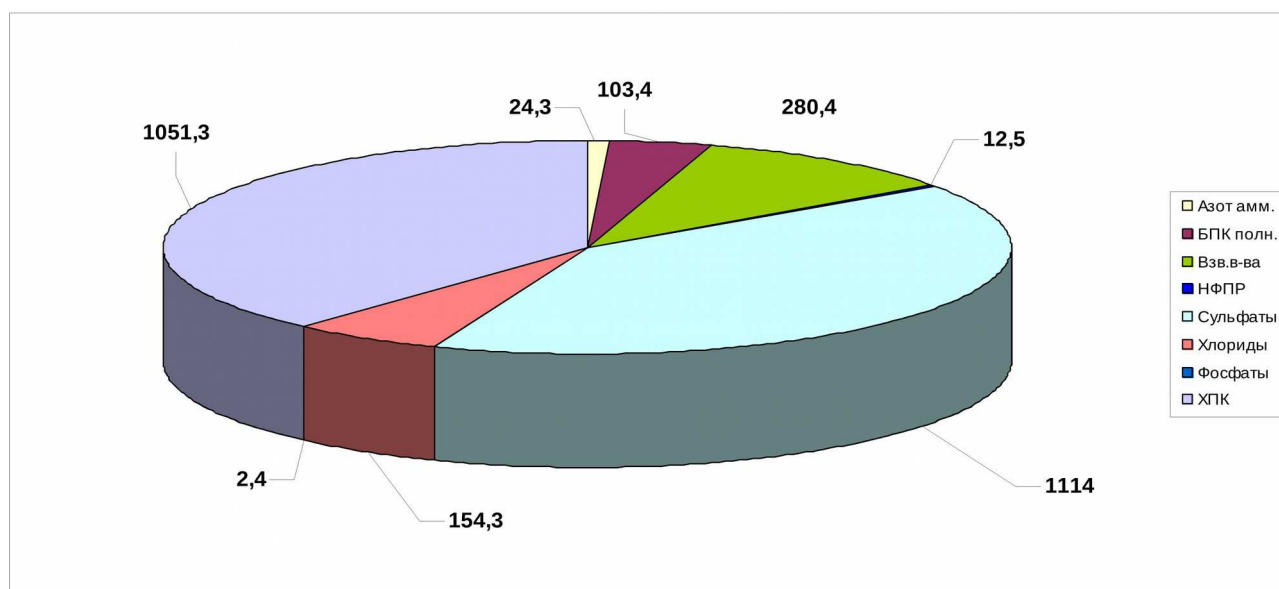


Рисунок 2 - Структура загрязняющих веществ отведенных в Красноярское водохранилище в 2017 году, т/год [20]

Наряду с контролируемыми сосредоточенными источниками загрязнения в последнее десятилетие существенно возросла роль неконтролируемых источников.

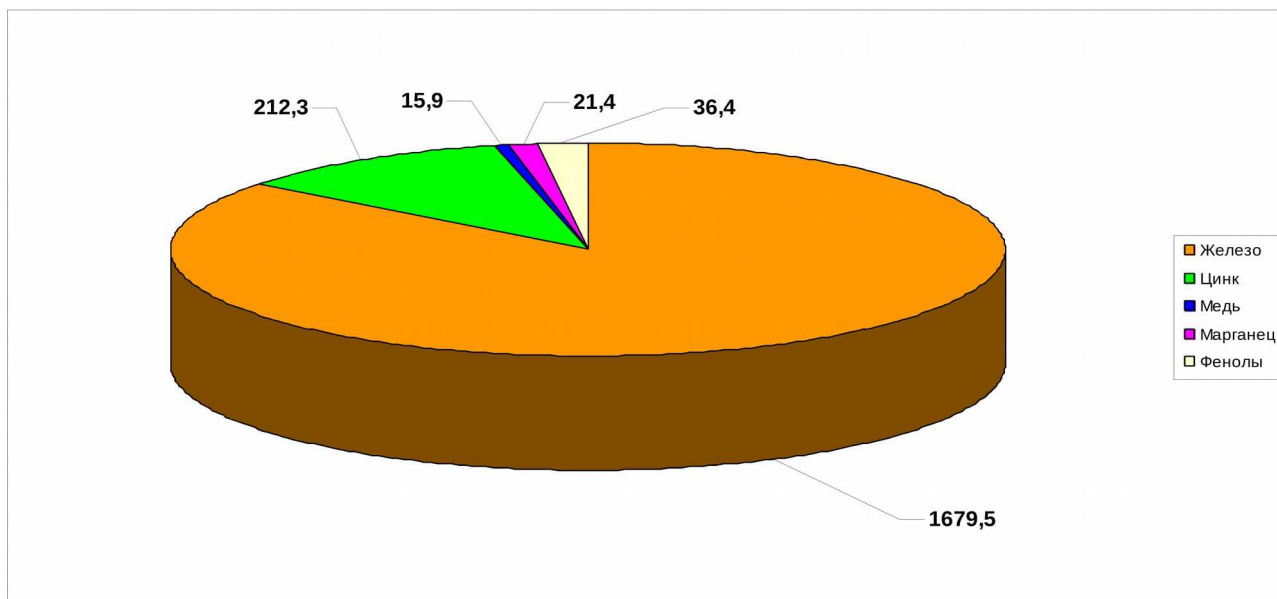


Рисунок 3 - Структура загрязняющих веществ отведенных в Красноярское водохранилище в 2017 году, кг/год [20]

Для различных видов хозяйственной деятельности населения отмечается определенная количественная и качественная дифференциация поступления в водохранилище загрязнений. Значительная доля загрязняющих веществ поступает в водохранилище с водосборов в виде рассредоточенного (диффузного) стока с территорий не канализованных. Чаще всего эти загрязняющие вещества не поддаются точному учету и корректной оценке. Так, фактически не учитываются источники загрязнения в виде выпадения из атмосферы; поверхностного стока с расположенных в береговой зоне водохранилища баз отдыха, фермерских хозяйств и садовых участков; стока с территорий населенных пунктов, где находятся АЗС, стоянки техники, мастерские, склады (предназначенные для хранения различных ядовитых химикатов), и мелких поселков, не имеющих канализованного стока; поверхностного стока с несанкционированных полигонов, используемых для складирования хозяйственно-бытовых отходов; загрязнения от рекреации, а также от аварийных и залповых сбросов.

## **4 Материалы и методика исследований водного объекта**

### **4.1 Основные положения программы мониторинга Красноярского водохранилища**

Возрастающие антропогенные нагрузки на окружающую природную среду влекут за собой изменения последней, что обуславливает необходимость проведения работ по линии мониторинга. Мониторинг – это система наблюдения, оценки и прогноза антропогенных изменений в окружающей природной среде. Важнейший принцип мониторинга «преемственность», т. е. использование сложившихся систем наблюдения за состоянием природной среды, всех знаний по анализируемому конкретному природному водному объекту (в данном случае – Красноярскому водохранилищу) [9].

Ведение государственного мониторинга водных объектов по количественным и качественным показателям состояния водных ресурсов осуществляется для достижения следующих целей: своевременного выявления и прогнозирования негативного воздействия вод, а также развития негативных процессов, влияющих на качество воды в водных объектах и их состояние, разработки и реализации мер по предотвращению негативных последствий этих процессов; оценки эффективности осуществляемых мероприятий по охране водных объектов; информационного обеспечения управления в области использования и охраны водных объектов, в том числе в целях государственного надзора в области использования и охраны водных объектов.

В «Бассейновой программе мониторинга поверхностных водных объектов, состояния дна, берегов водных объектов, ведения наблюдений за водохозяйственными системами, в том числе за гидротехническими сооружениями, находящимися в федеральной собственности» (далее – Программе мониторинга) заложена конечная задача: оперативное получение информации, оценка и прогнозирование изменений состояния водных объектов, количественных и качественных показателей состояния водных ресурсов с целью использования этих результатов планирующими, хозяйственными и контролирующими органами [20, 21].

Разработанная Программа мониторинга представляет собой оптимальный с эколого-экономической и информационной точки зрения вариант организации наблюдений за состоянием крупнейших водохранилищ Енисейского каскада ГЭС, в том числе Красноярского водохранилища [42].

Программа мониторинга включает два варианта апробированных и внедренных в обычную практику. Полная программа включает в себя круглогодичные и стационарные наблюдения, максимально разветвленную сеть станций, наблюдения по наибольшему числу показателей гидрохимического режима, анализ источников загрязнения экосистемы.

Сокращенная программа включает минимальное число реперных станций наблюдений, выбранных по результатам полной программы, наиболее характерные показатели экологического состояния водохранилища.

#### **4.2 Характеристика сети наблюдений и перечень контролируемых показателей**

Красноярское водохранилище получает неодинаковую антропогенную нагрузку: верховье принимает основную массу загрязненных промышленных хозяйственно-бытовых сточных вод; средняя часть загрязняется стоками от населенных пунктов, с сельскохозяйственных угодий; низовье загрязняется преимущественно водным транспортом.

Согласно Программе мониторинга сеть пунктов наблюдений, т. е. станций, разработана и апробирована на Красноярском водохранилище с учетом степени антропогенного воздействия. Пункты наблюдений организованы в первую очередь на участках, имеющих хозяйственное значение, а также подверженных значительному загрязнению промышленными, хозяйственно-бытовыми и сельскохозяйственными сточными водами. На, незагрязненных сточными водами, участках созданы пункты для фоновых наблюдений [20, 21].

Для наблюдения и анализа состояния поверхностных вод и донных отложений Красноярского водохранилища под руководством сотрудников Федерального государственного бюджетного учреждения «Енисейрегионводхоз» (Росводресурсы) были определены пункты наблюдений на участках: в зоне влияния сточных и дренажных вод предприятий-водопользователей; в зоне подпора крупных боковых притоков рек; на предплотинном участке водохранилища, являющимся важным для рыбного хозяйства.

Пункты наблюдений ФГУ «Енисейрегионводхоз» (Росводресурсы), на которых производятся отборы проб воды и донных отложений, показаны в таблице 6 и на рисунке 4.

Таблица 6 - Пункты наблюдений на Красноярском водохранилище [21]

| № пункта | Пункт наблюдения                  | Местоположение, км от устья | Субъект РФ         |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 1        | Устьевой участок р. Биджа         | 2860                        | Республика Хакасия |
| 2        | Сыдинский залив, п. Краснотуранск | 2793                        | Красноярский край  |
| 3        | Новоселовский плес                | 2670                        | Красноярский край  |
| 4        | п. Новоселово                     | 2669                        | Красноярский край  |
| 5        | Предплотинный участок             | 2503                        | Красноярский край  |



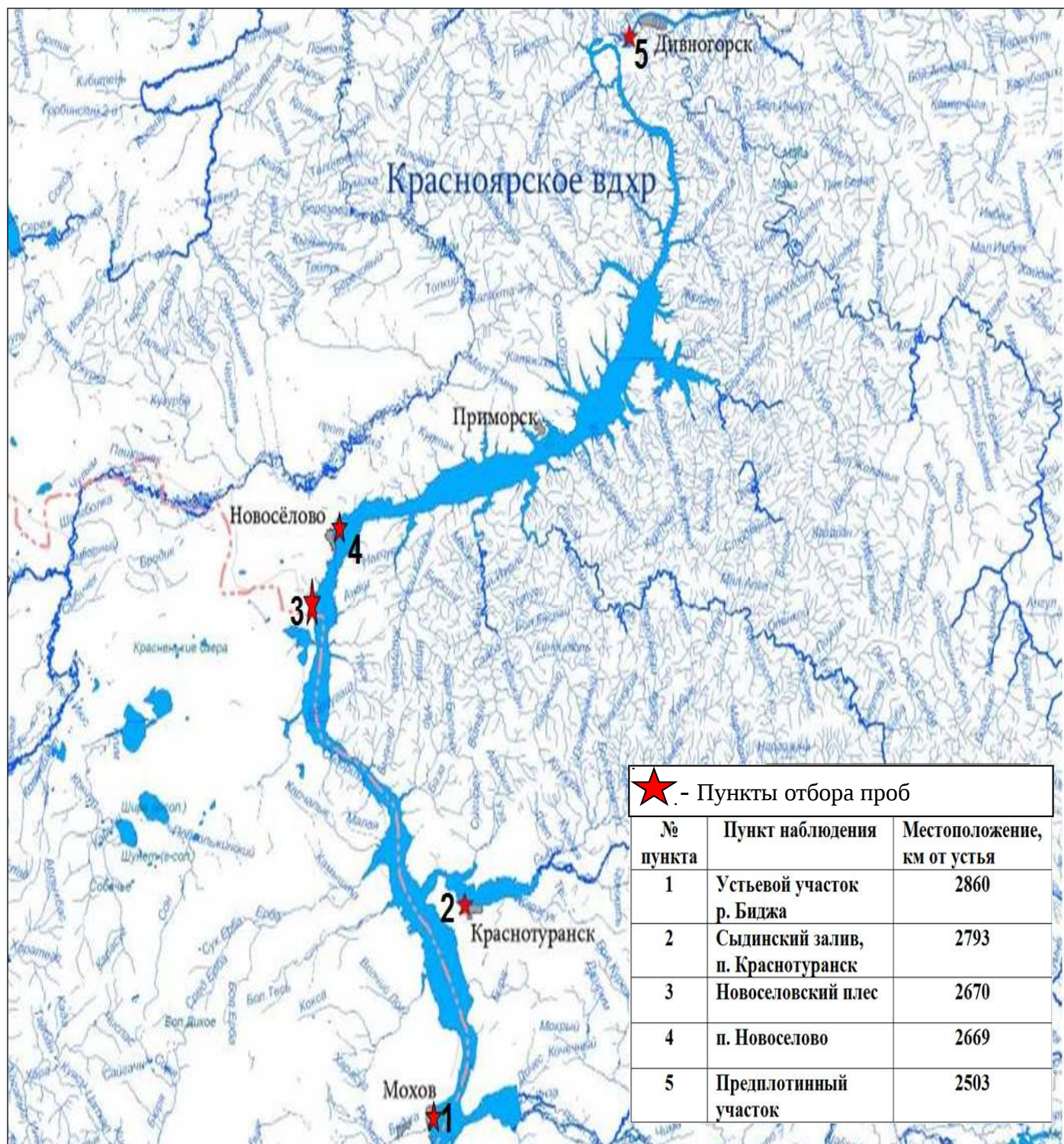


Рисунок 4 – Карта - схема сети пунктов наблюдений за состоянием поверхностных вод и донных отложений на Красноярском водохранилище (по Программе мониторинга) [21]

В пунктах наблюдения располагаются от одного до двух поперечных створов с одной или несколькими вертикалями по ширине водоема. Отбор проб воды производится в поверхностном горизонте до изобат 0,5 м, в створах с большими глубинами отбор проб воды осуществляется в нескольких горизонтах. Так, на предплотинном участке Красноярского водохранилища отбор проб воды производится в одном створе (пункте наблюдений) на трех вертикалях (0,1; 0,5; 0,9В), отбор донных отложений в пункте наблюдений выполняется на одной или трех вертикалях (0,1; 0,5; 0,9В). Соответственно Программе мониторинга 2016-2017 гг. в каждом створе расположение водных горизонтов на вертикалях соответствовало трем уровням: у поверхности, на 0,5 глубины (h), у дна.

Створы наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях, по возможности, совмещаются со створами наблюдений в поверхностном водном горизонте. Пробы донных отложений отбираются в месте, где слой отложений достигает максимальной толщины.

Организация и ведение мониторинга водохранилища, выбор участков водного объекта, на которых проводятся наблюдения, определение местоположения контрольных створов, вертикалей, горизонтов осуществляется согласно нормативным документам: РД 52.24.309–2011 «Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши»; РД 52.24.643–2002 «Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям»; СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод»; «Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения», утвержденные приказом Росрыболовства от 04.08.2009 г. № 695; СП 3.1.1.2521-09 «Профилактика холеры. Общие требования к эпидемиологическому надзору за холерой на территории Российской Федерации» [41, 42].

В соответствии с Программой мониторинга Красноярского водохранилища выполняется целый комплекс работ: визуальные наблюдения за состоянием водного объекта; отбор проб воды для производства анализа в стационарной лаборатории; выполнение химических определений неустойчивых компонентов химического состава воды непосредственно у водного объекта; отбор проб донных отложений на определение концентрации загрязняющих веществ; измерение расходов воды и температуры [21].

Отбор и анализ проб воды производится в соответствии с требованиями: ГОСТ 17.1.3.07-82 «Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков»; ГОСТ 17.1.4.01-80 «Охрана

природы. Гидросфера. Общие требования к методам определения нефтепродуктов в природных и сточных водах»; ГОСТ 17.1.5.05-85 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков»; ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб»; ГОСТ 17.1.5.04-81 «Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия»; Р 52.24.353-2012 «Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод» [42].

Состав контролируемых параметров определяется с учетом:

- показателей, отражающих характер и специфику воздействия при использовании водных объектов для различных целей;
- водохозяйственной обстановки в местах отбора проб.

В перечень контролируемых показателей включены следующие:

- а) гидрологические показатели: расход воды, уровень;
- б) гидрохимические показатели: визуальные наблюдения, температура, цветность, прозрачность, запах, концентрация растворенного кислорода; ХПК; БПК<sub>5</sub>/полн.; взвешенные вещества; водородный показатель; удельная электропроводность; концентрация главных ионов - хлоридных, сульфатных, гидрокарбонатных, кальция, магния, натрия; концентрация биогенных элементов - аммонийных, нитритных и нитратных ионов, фосфатов; концентрации широко распространенных загрязняющих веществ - нефтепродуктов, СПАВ, фенолов, ртути, свинца, кадмия, цинка, марганца, меди, железа, алюминия, молибдена, кадмия, хрома, никеля, фторидов, жиров, сульфидов;
- в) показатели загрязнения донных отложений: водородный показатель рН, нефтепродукты, ртуть, фенолы, медь, цинк, марганец, никель, нитриты, свинец, железо общее.

#### **4.3 Методы и материалы исследований**

Материалом для исследования гидрохимического состояния воды и донных отложений Красноярского водохранилища в рамках Программы мониторинга послужили пробы, отобранные специалистами ФГУ «Енисейрегионводхоз» при личном участии автора в период 2013-2017 гг. с целью определения показателей загрязненности поверхностных вод и донных отложений. Наблюдения за качеством поверхностных вод и донных отложений велись на Красноярском водохранилище в 5 пунктах наблюдений (8 створов), местоположение которых определено в соответствии с методическими приемами. Перечень пунктов наблюдения, на которых производились отборы проб воды и донных отложений, соответствующий структуре действующей наблюдательной сети за состоянием водных объектов, представлен в таблице 7.



Таблица 7 – Перечень пунктов наблюдения, общее количество проб поверхностных вод и донных отложений, отобранных на Красноярском водохранилище и количество выполненных определений (2013-2017 гг.) [21]

| №<br>п/п      | Пункт наблюдения,<br>местонахождение<br>пункта наблюдения,<br>км. от устья | Количество проб    |            |            |            |            |                  |          |          |          |          | Количество определений |             |             |             |             |                  |           |           |           |           |
|---------------|--|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------------|----------|----------|----------|----------|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               |  | поверхностные воды |            |            |            |            | донные отложения |          |          |          |          | поверхностные воды     |             |             |             |             | донные отложения |           |           |           |           |
|               |  | 2013               | 2014       | 2015       | 2016       | 2017       | 2013             | 2014     | 2015     | 2016     | 2017     | 2013                   | 2014        | 2015        | 2016        | 2017        | 2013             | 2014      | 2015      | 2016      | 2017      |
| 1             | Устье р. Биджа,<br>2859,5  | 12                 | 9          | 9          | 9          | 9          | 1                | 1        | 1        | 1        | 1        | 276                    | 225         | 225         | 225         | 225         | 9                | 9         | 9         | 9         | 9         |
| 2             | Сыдинский залив,<br>п. Краснотуранск,<br>2793                              | 12                 | 12         | 12         | 12         | 12         | 1                | 1        | 1        | 1        | 1        | 252                    | 264         | 264         | 264         | 264         | 9                | 9         | 9         | 9         | 9         |
| 3             | Новоселовский<br>плес,<br>2670   | 20                 | 28         | 28         | 28         | 28         | -                | -        | -        | -        | -        | 240                    | 616         | 616         | 616         | 616         | -                | -         | -         | -         | -         |
| 4             | п. Новоселово,<br>2669   | 12                 | 12         | 12         | 12         | 12         | 1                | 1        | 1        | 1        | 1        | 288                    | 276         | 276         | 276         | 276         | 9                | 9         | 9         | 9         | 9         |
| 5             | Предплотинный<br>участок,<br>2503  | 44                 | 52         | 52         | 52         | 52         | 3                | 3        | 3        | 3        | 3        | 968                    | 1144        | 1144        | 1144        | 1144        | 27               | 27        | 27        | 27        | 27        |
| <b>Итого:</b> |  | <b>100</b>         | <b>113</b> | <b>113</b> | <b>113</b> | <b>113</b> | <b>6</b>         | <b>6</b> | <b>6</b> | <b>6</b> | <b>6</b> | <b>2024</b>            | <b>2525</b> | <b>2525</b> | <b>2525</b> | <b>2525</b> | <b>54</b>        | <b>54</b> | <b>54</b> | <b>54</b> | <b>54</b> |

В процессе выполнения работ использовался методический прием – комплексные экспедиционные съемки, которые отвечают главным условиям: оперативность (проведение в предельно сжатые сроки), что была обеспечена временная сопоставимость результатов всех пунктов наблюдений на водохранилище; комплексность, когда на каждом пункте контроля одновременно регистрируются гидрологические и гидрохимические показатели; включение автоматизированных приемов, приборного обеспечения отбора проб и регистрации ряда параметров на водоеме.

Отбор проб производился в соответствии со стандартными методиками [42]. При отборе материала для осуществления гидрохимического анализа воды и донных отложений была использована приборная база, включающая: две системы батометров, дночерпатель утяжеленный (площадь захвата  $1/100 \text{ м}^2$ ), атомно-абсорбционный спектрометр ZEE nit-700, 813-07001-2 AJ, аппаратно-программный комплекс для исследований на базе хроматографа «Хроматек-Кристалл 5000.2», определители температуры воды и содержания растворенного в воде кислорода (МАРК-2) (рис. 5, 6).

Пробы воды отбирали специальными батометрами, предназначенными для конкретной задачи:

- отбор поверхностных проб осуществляли батометром, состоящим из штанги длиной 1 м, к которой прикрепляется площадка для установки стерильной емкости для отбора проб и подвижное устройство для крепежа емкостей разных размеров;

- глубинные пробы отбирали батометром Молчанова ГР-18, состоящим из платформы с грузом, к которой прикрепляется стерильная емкость для отбора проб с пробкой (при этом пробка открывается с помощью, прикрепленной к ней веревки при достижении нужной глубины).

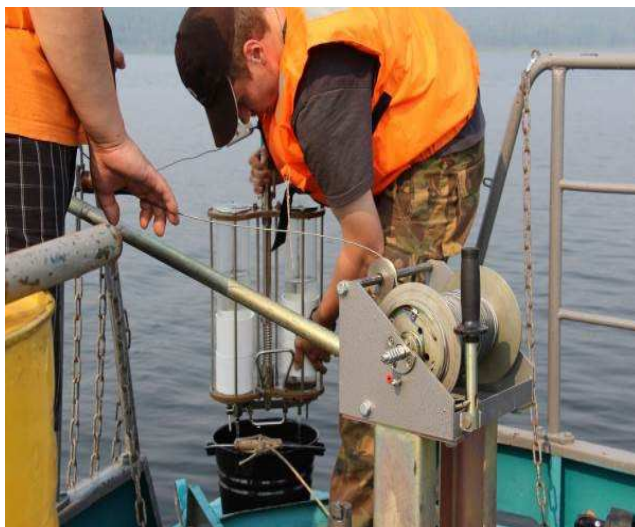


Рисунок 5 – Отбор проб воды на предплотинном участке Красноярского водохранилища



Рисунок 6 – Проведение химического анализа на содержание растворенного кислорода в воде прибором МАРК-2

Всего по Красноярскому водохранилищу в 2017 г. при непосредственном участии автора было отобрано 113 проб воды и 6 проб донных отложений (см. табл. 7). Данные, полученные за 2013-2016 гг., предоставлены специалистами ФГУ «Енисейрегионводхоз».

В пункте наблюдения располагалось от одного до двух поперечных створов с одной или тремя вертикалями по ширине водоема (0,1В; 0,5; 0,9В), при этом от левого берега на расстоянии 0,1 общей ширины водоема в пункте наблюдения находится первая вертикаль (0,1В), на расстоянии 0,5 общей ширины водоема – вторая вертикаль (0,5В), от правого берега на расстоянии 0,1 общей ширины водоема – третья вертикаль (0,9В). Отбор проб воды производили в поверхностном горизонте (до 0,5 м), в створах с большими глубинами отбор проб воды осуществляли с нескольких горизонтов (у поверхности, 0, 5h, у дна).

В верховье водохранилища отбор проб воды производили в устьевом участке р. Биджа в двух створах: 500 м выше устья реки (1 створ, 1 вертикаль - 0,1В) и 500 м ниже устья реки (1 створ, 1 вертикаль - 0,1В); у п. Краснотуранск в двух створах: 500 м выше выпуска сточных вод с ОС (1 створ, 1 вертикаль - 0,1В) и 500 м ниже ОС (1 створ, 1 вертикаль - 0,1В); в средней части - на Новоселовском плесе (1 створ, 3 вертикали - 0,1; 0,5; 0,9В), у п. Новоселово в двух створах: 500 м выше выпуска сточных вод с ОС (1 створ, 1 вертикаль - 0,1В) и 500 м ниже ОС (1 створ, 1 вертикаль - 0,1В). В нижней части водохранилища на предплотинном участке пробы отбирали в одном створе на трех вертикалях (0,1; 0,5; 0,9В) (см. рис. 4, приложения Б, Д).

Створы наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях, по возможности, совмещали со створами наблюдений в поверхностных водах. В верхней части водохранилища пробы отбирали в устьевом участке р. Биджа (1 створ, 1 вертикаль - 0,1В) и у п.

Краснотуранск (1 створ, 1 вертикаль - 0,1В); в средней части - у п. Новоселово (1 створ, 1 вертикаль - 0,1В), в низовье водоема - на предплотинном участке (1 створ, 3 вертикали (0,1; 0,5; 0,9В)). Отбор проб донных отложений производился одновременно с отбором проб воды в период максимального наполнения водохранилищ. Пробы донных отложений отбирались в месте, где слой отложений достигает максимальной толщины.

Аналитические работы по определению содержания загрязняющих веществ в пробах воды (22-25 ингредиентов) и донных отложений (9 ингредиентов) осуществляли по методикам, включенным в государственный реестр методик количественного химического анализа, в специализированной аккредитованной Росаккредитацией лаборатории ГХЛ ФГУ «Енисейрегионводхоз» (в области аккредитации ГХЛ – отбор проб и выполнение количественного химического анализа (КХА) различных объектов контроля: поверхностных, подземных, очищенных сточных и сточных вод, донных отложений, почв). Камеральную обработку проводили по общепринятым методикам [20, 21].

Сведения, полученные в результате проведения экспедиционных и камеральных исследований за период 2013-2017 гг. в рамках мониторинга Красноярского водохранилища, были обработаны и внесены автором в автоматизированную информационную систему государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) для формирования электронного общего банка данных АИС ГМВО по бассейновым округам, речным бассейнам, водохозяйственным участкам, территориям субъектов и в целом по Российской Федерации. Сформированные автором таблицы банка данных содержат 19 переменных (характеристик) и более 300 наблюдений. Данная электронная база постоянно пополняется, что позволяет использовать ее для оценки и прогнозирования изменения состояния водных объектов, а в дальнейшем при планировании и реализации мероприятий по охране и использованию водных объектов.

Материалы по гидробиологическому режиму за период с 1978-2012 гг. предоставлены научным руководителем.

Математическая обработка данных и статистический анализ проводились в программах - Microsoft Office, Microsoft Office Excel.

[Изъята глава 5].

[Изъята глава 6].

## ВЫВОДЫ

1. На основе данных исследований поверхностных вод Красноярского водохранилища в период 2013-2017 гг. установлено, что основными загрязняющими веществами воды Красноярского водохранилища, по которым выявлено превышение ПДК<sub>рх</sub>, являются тяжелые металлы: железо, медь, марганец, цинк.

2. Согласно показателям УКИЗВ качество воды водохранилища по гидрохимическим показателям оценивается в пределах от 1 класса - вода «условно чистая» до 3 класса, разряд «б» - вода «очень загрязненная». Наибольшее влияние на степень загрязненности поверхностных вод оказывают очистные сооружения поселков Краснотуранск и Новоселово, сбрасывающие недостаточно очищенные сточные воды непосредственно в водохранилище.

3. Оценка степени загрязнения донных отложений и их воздействия на экологическое состояние водных объектов представляет определенные методологические трудности, связанные с отсутствием ПДК для донных отложений. Загрязнение донных отложений Красноярского водохранилища не является критичным. Согласно Региональному нормативу загрязнение донных отложений в исследуемом водном объекте соответствует классам «чистые» - «слабо загрязненные».

4. В характере пространственно-временной динамики концентраций загрязняющих веществ в донных отложениях Красноярского водохранилища выявлена общая тенденция: увеличение содержания загрязнителей по оси водоема от устья р. Биджи к предплотинному участку. Основными загрязняющими веществами донных отложений являются тяжелые металлы: ртуть, цинк, марганец, железо, содержание которых в донных отложениях обусловлено, как их повышенным региональным фоном, так и антропогенным влиянием сточных вод очистных сооружений п. Краснотуранск и п. Новоселово.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

В настоящей магистерской диссертации применяют следующие сокращения и обозначения с соответствующими расшифровкой и пояснениями:

|   |   |
|---|---|
| СибНИИЭ –   | Сибирский научно-исследовательский институт энергетики  |
| СибрыбНИИпроект –   | Сибирский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт рыбного хозяйства (с 2003 г. <a href="#">Госрыбцентр</a> ) |
| КГМС –  | Красноярское управление Гидрометеослужбы  |
| ФГБНУ «НИИЭРВ»  | Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт экологии рыбохозяйственных водоемов»  |
| КГУ –   | Красноярский государственный университет  |
| Енисейское БВУ –  | Енисейское бассейновое водное управление Федерального агентства водных ресурсов (Росводресурсы)                                   |
| ФГУ «Енисейрегионводхоз» –                                  | Федеральное государственное бюджетное учреждение «Енисейрегионводхоз»   |
| ФГУ «Управление эксплуатации Красноярского водохранилища» – | Федеральное государственное учреждение «Управление эксплуатации Красноярского водохранилища»                                      |
| ФГУ «Енисейрегионводхоз» –                                  | Федеральное государственное учреждение «Енисейрегионводхоз»   |
| ГХЛ ФГУ «Енисейрегионводхоз» –                              | Гидрохимическая лаборатория Федерального государственного бюджетного учреждения «Енисейрегионводхоз»                              |
| Росаккредитация –   | Федеральной службой по аккредитации   |
| НПУ –   | Нормальный подпорный уровень  |
| УМО –   | Уровень мертвого объема   |
| ОС –  | Очистные сооружения   |
| ПДК –   | Предельно-допустимая концентрация   |
| БПК <sub>5</sub> –  | Биохимическое потребление кислорода (ушедшее за 5 суток на окисление  |

|  |  |
|--|--|
|  | загрязняющих веществ)  |
| БПК <sub>20</sub> (БПК <sub>полн</sub> ) – | Полное биохимическое потребление кислорода (достигается за 20 суток) |
| ХПК –                                      | Химическое потребление кислорода                                     |
| НФПР –                                     | Нефтепродукты  |
| ВОВ –                                      | Взвешенное органическое вещество                                     |
| УКИЗВ –                                    | Удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды                    |



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Авакян, А. Б. Водохранилища : учебное пособие / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов. – Москва : Мысль, 1987. – 326 с.
2. Бабкина, И. В. Особенности проектирования подготовки под затопление ложа водохранилищ ГЭС Сибири. – Красноярск : СибГТУ, 2001.
3. Барабанова, Е. А. Сравнительная геоэкологическая оценка водохранилищ гидроэлектростанций : автореф. дис. по ВАК, канд. географ. наук : 25.00.27 / Барабанова Елена Алексеевна. – Москва, 2001. – 289 с.
4. Безруков, Л. А. Социально-экономические и экологические последствия сооружения ГЭС : учебное пособие / Л. А. Безруков, Л. М. Коротыгин. – Наука, 2007. – 185 с.
5. Боголюбов, С. А. Экология и экологический мониторинг : учебное пособие / С. А. Боголюбов. – Москва : Знание, 1999. – 300 с.
6. Богославский, Б. Б. Общая гидрология : учебное пособие / Б. Б. Богославский, А. А. Самохин, и др.. – Ленинград : Высш. шк, 1984. – 280 с.
7. Васильев, О. Ф. Экологическое состояние Новосибирского водохранилища / О. Ф. Васильев, В. М. Савкин, С. Я. Двуреченская, С. Я. Тарасенко, П. А. Попов, А. Ш. Хабидов // Сибирский экологический журнал. – 2000. – № 2. – С. 149-163.
8. Веселовский, Н. В. О гидрохимической изученности крупных речных бассейнов / Н. В. Веселовский, В. С. Путинцева, Р. К. Манихина // Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда / Т. 9. Качество вод и научные основы их охраны. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1976. – С. 124-127.
9. Водный кодекс Российской Федерации (с изм. на 4.12.2006г.) от 3.06.2006 г. №74-ФЗ. – 2006. – 150 с.
10. Вышегородцев, А. А. Красноярское водохранилище : учебное пособие / А. А. Вышегородцев, И. В. Ануфриева, О. А. Кузнецова. – Новосибирск: Наука, 2005. – 212 с.
11. Гидрологическая изученность бассейна реки Енисей. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1983. – 380 с.
12. Гидрохимические показатели окружающей среды: справочные материалы / ред. Гусева, Т. В. – Москва : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. – 192 с. – ISBN 978-5-91134-080-3. – ISBN 978-5-16-002933-7. – 2007. – 147 с.
13. Гольд, З. Г. Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество вод : монография / З. Г. Гольд. – СФУ, Красноярск, 2008. – 537 с.
14. Государственный доклад Министерства природных ресурсов Красноярского края «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2015 год». – Красноярск, 2016. – 217 с.
15. Гусева, Т. В. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды : справочные материалы / Т. В. Гусева, Я. П. Молчанова, Е. А. Заика. – Москва : Эколайн. – 1999. – 156 с.



16. Денисова, А. И. Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды / А. И. Денисова, Е. П. Нахшина, Б. И. Новиков и др. – Киев : Наукова думка, 1987. – 16 с.
17. Дряхлов, А. Г. Влияние геотехнических систем на окружающую среду в условиях многолетней мерзлоты : на примере Колымского водохранилища : дис. канд. географ. наук : 25.00.23 / Дряхлов Александр Григорьевич. – Владивосток, 2004. – 181 с.
18. Ежегодник качества поверхностных вод РФ - Гидрохимический институт. – Краснодар, 2016. – 123 с.
19. Ежегодник качества поверхностных вод ФГБУ «Среднесибирского УГМС» за 2015 год. – Красноярск, 2016. – 115 с.
20. Ежегодный информационный бюллетень Енисейского бассейнового водного управления о состоянии водных объектов бассейна р. Енисей за 2015 год. – Красноярск, 2016. – 159 с.
21. Ежегодный информационный бюллетень ФГБУ «Енисейрегионводхоз» о состоянии водных объектов бассейна р. Енисей за 2015 год. – Красноярск, 2016. – 119 с.
22. Жукинский, В. Н. Методологические основы экологической классификации качества поверхностных вод суши / В. Н. Жукинский, О. Н. Оксенок // Гидробиологический журнал. – 1983. Т. 19, № 2. – С. 59-67.
23. Иофин, З. К. Мировой водный баланс, водные ресурсы Земли, водный кадастр и мониторинг : учебное пособие / З. К. Иофин. – Вологда : ВоГТУ, 2009. – 141 с.
24. Исянов, Л. М. Оценка воздействия на окружающую среду. Часть 1. Оценка воздействия источников на атмосферный воздух : учебное пособие / Л. М. Исянов, А. В. Левин. – Санкт-Петербург : Петербургский гос. технолог. ун-т растительных полимеров, 2011. – 74 с.
25. Казмирук, Т. Н., Казмирук, В.Д. Современные проблемы качества воды и донных отложений Иваньковского водохранилища как источника питьевого водоснабжения / Т. Н. Казмирук, В. Д. Казмирук // Вісник національного університету водного господарства та природокористування. Рівне. – 2009. – С. 175-180.
26. Кальная, О. И. Некоторые экологические аспекты функционирования озеровидной части Саяно-Шушенского водохранилища / О. И. Кальная, О. Д. Аюнова // Экосистемы Центральной Азии: исследования, проблемы охраны и природопользования: Материалы IX Убсунурского Междунар. симп. – Кызыл, 2008. – С. 323–325.
27. Корпачев, В. П. Влияние водохранилищ ГЭС Ангара - Енисейского региона на окружающую природную среду / В. П. Корпачев // Вестник КрасГАУ. – 2005. – № 8. – С. 90-96.
28. Корытный, Л. М. Водные ресурсы Ангара-Енисейского района : учебное пособие / Л. М. Корытный, Л. А. Безруков. – Новосибирск : Наука, 1990. – 163 с.

29. Космаков, И. В. Термический режим Красноярского водохранилища, Новосибирск : Наука, 1982. – 164 с.

30. Коцюк, Д. В. Формирование ихтиофауны Зейского водохранилища : дис. канд. биол. наук : 03.00.10 / Коцюк Денис Владимирович. – Хабаровск, 2009. – 162 с.

31. Кузнецова, О. А. Распределение биоценозов донных сообществ по грунтам глубоководного Красноярского водохранилища (по многолетним рядам, 1978-1997гг.) / О. А. Кузнецова, З. Г. Гольд // Сибирский экологический журнал. – 2002. – № 2. – С. 165-172.

32. Кузнецова, О. А. Структурно-функциональная организация зообентоса Красноярского водохранилища (1978-1997 гг.) : дисс. канд. биол. наук : 03. 00. 18 / Кузнецова Ольга Анатольевна. – Красноярск, 2000. – 167 с.

33. Кузнецова, О. А. Сукцессии видового состава донных биоценозов Красноярского водохранилища / О. А. Кузнецова // Сохранение биологического разнообразия Енисейской Сибири: материалы межрегиональной. науч. конф. – Красноярск, КГУ, 2000. – С. 90-95.

34. Кузнецова, О. А. Сукцессии донных биоценозов Красноярского водохранилища / О. А. Кузнецова // Материалы Юбилейной конференции, посвященной 115-летию Красноярского краевого отделения Русского географического общества. – Красноярск, СФУ. – 2016. – С. 55-58.

35. Кузнецова, О. А. Сукцессионные изменения донных сообществ глубоководного Красноярского водохранилища / О. А. Кузнецова // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 9. – С. 99-103.

36. Кузнецова, О. А. Хорология донных сообществ глубоководного водохранилища / О. А. Кузнецова // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 2. – С. 5-54.

37. Кузнецова, О. А. Эколого-биологическая характеристика структурообразующих видов донных биоценозов Красноярского водохранилища / О. А. Кузнецова // Сборник статей IX международной научно-практической конференции «EurasiaScience» (Москва, 31 мая 2017 г.). – Москва : «Научно-издательский центр «Актуальность.РФ». – 2017. – Ч.1. – С. 27-30.

38. Кузьмин, И. А. Русловые процессы и их изменение под воздействием гидротехнических сооружений / И. А. Кузьмин // Труды Гидропроекта. –1973. – №30. – С. 6-14.

39. Линник, П. Н. Формы миграции металлов в пресных водах : учебное пособие / П. Н. Линник, Б. И. Набиванец. – Ленинград : Гидрометеиздат. – 1986. – 286 с.

40. Матвеев, А. Н. Оценка воздействия на окружающую среду : учебное пособие / А. Н. Матвеев, В. П. Самусенок, А. Л. Юрьев. – Иркутск : Иркут. гос. ун. – 2007. – 179 с.

41. Мизандронцев, И. Б. Химические процессы в донных отложениях водоемов : учебное пособие / И. Б. Мизандронцев. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд. – 1990. – 86 с.

42. Мур, Дж. В. Тяжёлые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния / Дж. В. Мур, С. П. Рамамурти. – Москва : Мир. – 1987. – 285 с.
43. Наставления гидрометеостанциям и постам. Гидрометрические наблюдения на озерах и водохранилищах. – Ленинград, 1973. – №7. – Ч 1. – 190 с.
44. Неустроева, М. В. Геоэкологический мониторинг: учебное пособие / М. В. Неустроева. – Красноярск : КГПУ им В.П. Астафьева, 2014. – 402 с.
45. Неустроева, М. В. Оценка экологического состояния природно-территориальных комплексов (ПТК) : мониторинг, оценка качества компонентов окружающей среды : учебно-методическое пособие / М. В. Неустроева. – Красноярск : КГПУ им. В. П. Астафьева, 2005. – 371 с.
46. Петин А. Н. Анализ и оценка качества поверхностных вод: учебное пособие / А. Н. Петин, М. Г. Лебедева, О. В. Крымская. – Белгород : БелГУ, 2006. – 256 с.
47. Петров, К. М. Общая экология: Взаимодействие общества и природы: учебное пособие для вузов / К. М. Петров. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Химия, 1998. – 352 с.
48. Пехович А. И. Основы гидроледотермики: научное издание / А. И. Пехович. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 200 с.
49. Путинцева В. С., Манихина Р. К. и др. // Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда / Т. 9. Качество вод и научные основы их охраны. Ленинград : Гидрометеиздат, 1976. – С. 179-183.
50. Региональный норматив: Нормы и критерии оценки загрязнённости донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга, 1996. – 147 с.
51. Салаватов, К. Н. Исследование состояния донных сообществ Красноярского водохранилища / К. Н. Салаватов, И. И. Пякшина // Устойчивое развитие: региональные аспекты. – Брест, 2018. – С. 47-50.
52. СанПиН 2.1.5.980-00 Гигиенические требования к охране поверхностных вод. – Минздрав РФ, 2000. – 190 с.
53. СанПиН 4630-88 «Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения». – Минздрав РФ, 2000. – 189 с.
54. Сапожников, В. А. Экосистема Красноярского водохранилища : учебное пособие / В. А. Сапожников, З. Г. Гольд. – Красноярск, 2005. – 165 с.
55. Селезнева, М. В. Оценка современного экологического состояния Новосибирского водохранилища по структурно-функциональным показателям сообщества макрозообентоса : дисс. канд. биол. наук : 03.00.16, 03.00.18 / Селезнева Мария Васильевна. – Новосибирск, 2005. – 160 с.
56. Скалкин, Ф. В. Энергетика и окружающая среда : учебное пособие / Ф. В. Скалкин. – Ленинград : Энергоиздат, 1981. – 280 с.
57. Степаненко, Е. Е. Оценка химического состава воды Новотроицкого водохранилища Ставропольского края / Е. Е. Степаненко, Ю. А. Мандра, Р. С. Еременко, Т. Г. Зеленская // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 9. – С. 26-29.

58. Субетто, Д. А. Донные отложения разнотипных водоёмов, методы изучения, Карельский научный центр РАН / Д. А. Субетто, М. Я. Прыткова. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2016. – 89 с.

59. Фадеев, В. В. Связь между гидрохимическим и водным режимом равнинных и горных рек СССР / В. В. Фадеев, М. Н. Тарасов, В. Л. Павенко // Труды IV гидрологического съезда / Т. 9. Качество вод и научные основы их охраны. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1976. – С. 97-101.

60. Федоров, М. П. Экология для гидротехников : учебное пособие / М. П. Федоров, М. Б. Шилин, Н. Н. Ролле. Санкт-Петербург : ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1992. – 80 с.

61. Шварева, И. С. Тяжёлые металлы в наземных и водных экосистемах: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. хим. наук : 03.00.16 / Ирина Станиславовна Шварёва. – Иваново, 2006. – 15 с.

62. Bogutskaya, N. G., Naseka A. M., Shedko S.V., Vasil'eva E. D., Chereshev I. A. The fishes of the Amur river: updated check-list and zoogeography // Ichthyol. Explor. Freshwaters, 2008.- Vol. 19.- № 4. – P. 301-366.

63. Erbaeva, E. A., Safronov G. P. Results of the Bratsk reservoir ecosystem monitoring // Journal of Lake Sciences. – Suppl., 1998. – Vol.10. – P. 549-558.

64. Kuznetsova, O. A., Gold Z. G., Anufrieva T. N., Muchkina E. Y., Kozhevnikova N. A., Tropina C. P. The dynamics of structural characteristics of the ecosystem in the Krasnoyarsk deep-water reservoir (1977-1999) // Biodiversity and dynamics of ecosystem in North Eurasia: – Novosibirsk. SB RAS, 2000. – Vol.5. – P.1. – P.125-127.

65. Vladut T. The International Water Power and Dam Construction // Int. Water Power and Dam Construction, 1996. – № 2. – P. 112-125.

66. Vladut T. Reservoirs and environment // Int. Water Power and Dam Construction, 1997. – № 3. – P. 28-30.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

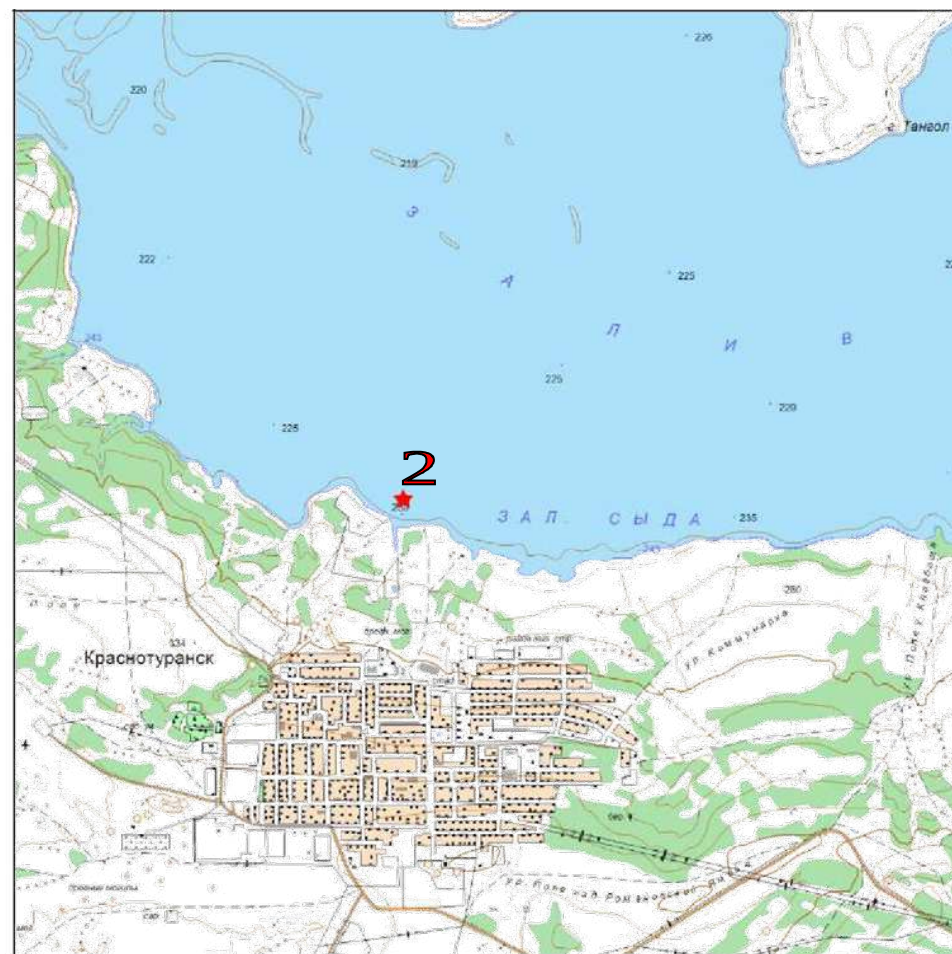
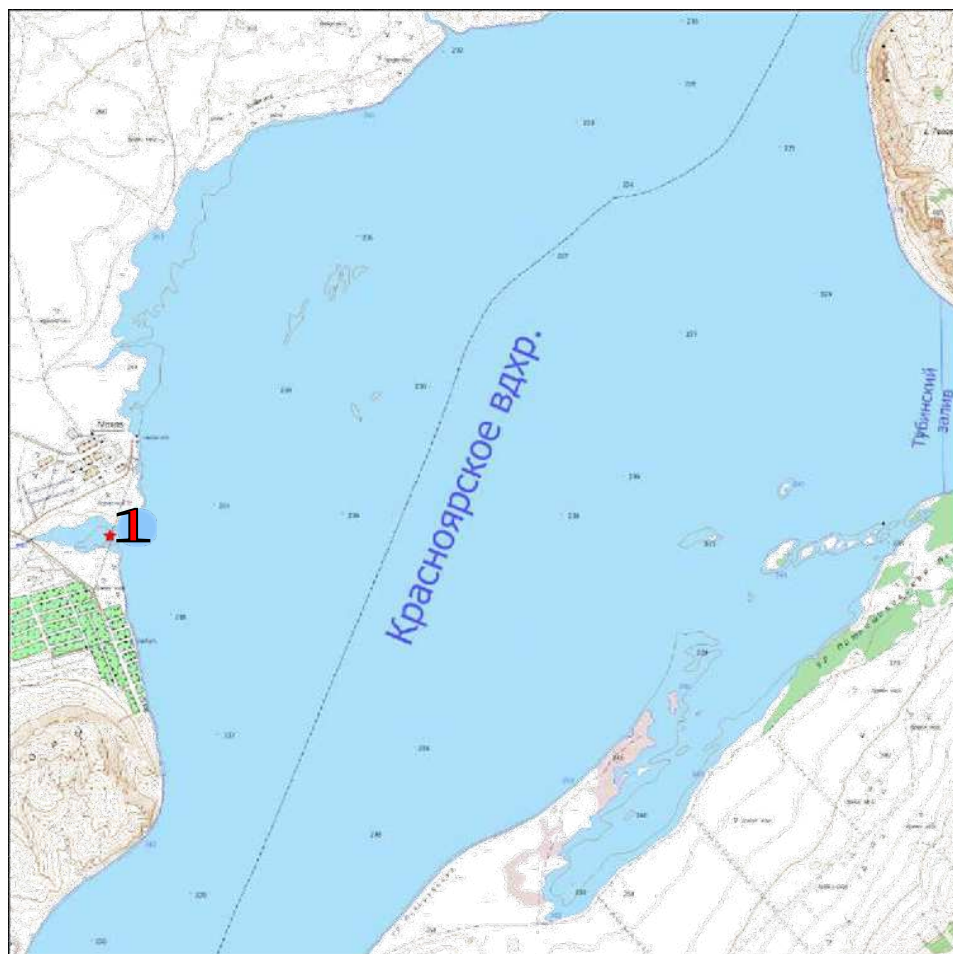
### Водохранилища ГЭС на территории Красноярского края [14]

| Название                                   | Местонахождение,<br>км от устья | Годы наполнения,<br>назначение                            | Площадь<br>водного<br>зеркала<br>при<br>НПУ, км <sup>2</sup> | Объем, млн. м <sup>3</sup> |          |
|--|---------------------------------|---|--|----------------------------|----------|
|  |                                 |   |  | полный                     | полезный |
| вдхр. Богучанской ГЭС,<br>р. Ангара        | г. Козинск, 445                 | 2012-2014,<br>гидроэнергетика                             | 2348,1   | 58220,0                    | 2310,0   |
| вдхр. Красноярской ГЭС,<br>р. Енисей       | г. Дивногорск, 2493             | 1967-1970,<br>гидроэнергетика,<br>судоходство             | 2000,0   | 73300,0                    | 30400,0  |
| вдхр. Саяно-Шушенской<br>ГЭС,<br>р. Енисей | н.п. Черемушки, 3050            | 1981-1990,<br>гидроэнергетика,<br>судоходство             | 608,0  | 30710,0                    | 14710,0  |
| вдхр Майнское,<br>р. Енисей                | н.п. Майна, 3029                | 1984-1985,<br>гидроэнергетика,<br>судоходство             | 10,7   | 94,6                       | 48,8     |
| вдхр. Усть-Хантайской ГЭС,<br>р. Хантайка  | г. Снежногорск, 63              | 1974-1975,<br>энергетика,<br>техническое<br>водоснабжение | 2230,0   | 25550,0                    | 14030,0  |
| вдхр. Курейской ГЭС,<br>р. Курейка         | г. Светлогорск, 101             | 1993-1994,<br>энергетика,<br>техническое<br>водоснабжение | 558,0  | 9962,0                     | 7300,0   |



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Карта - схема сети пунктов наблюдений за состоянием поверхностных вод и донных отложений Красноярского водохранилища (по Программе мониторинга) [19]

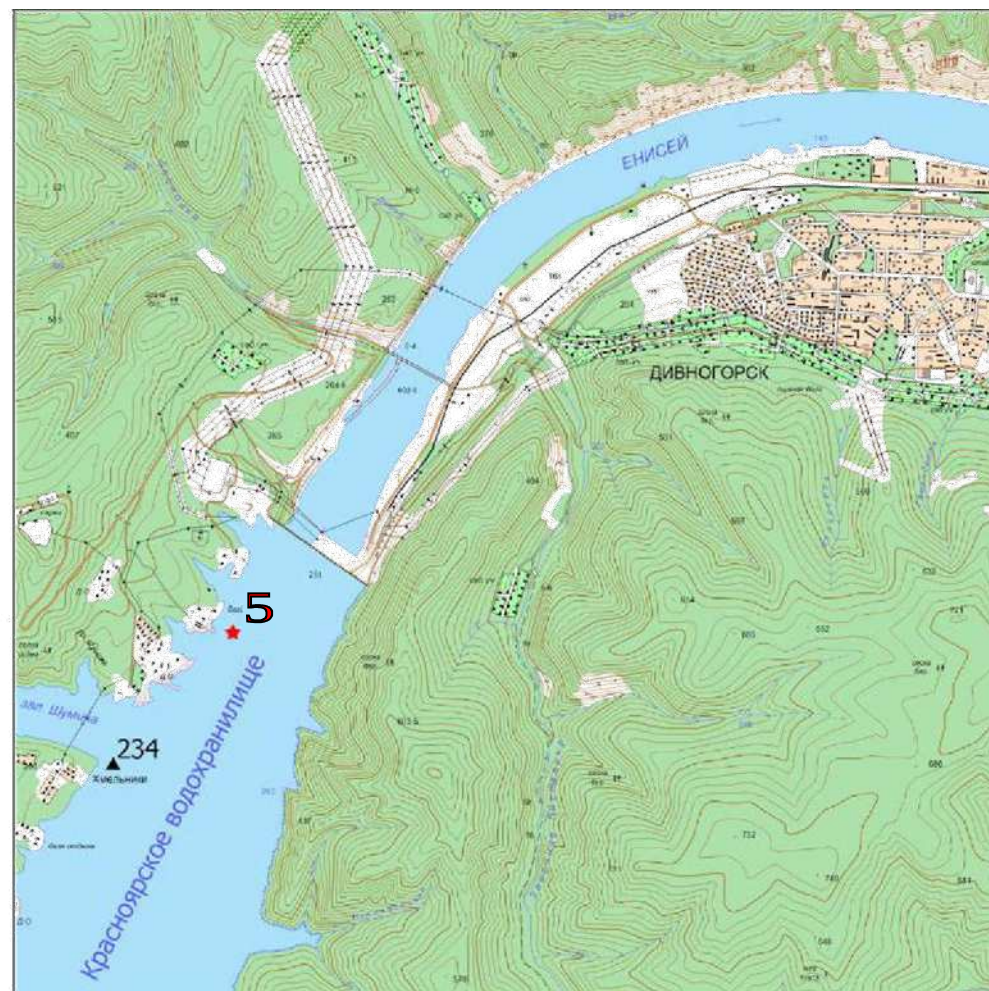
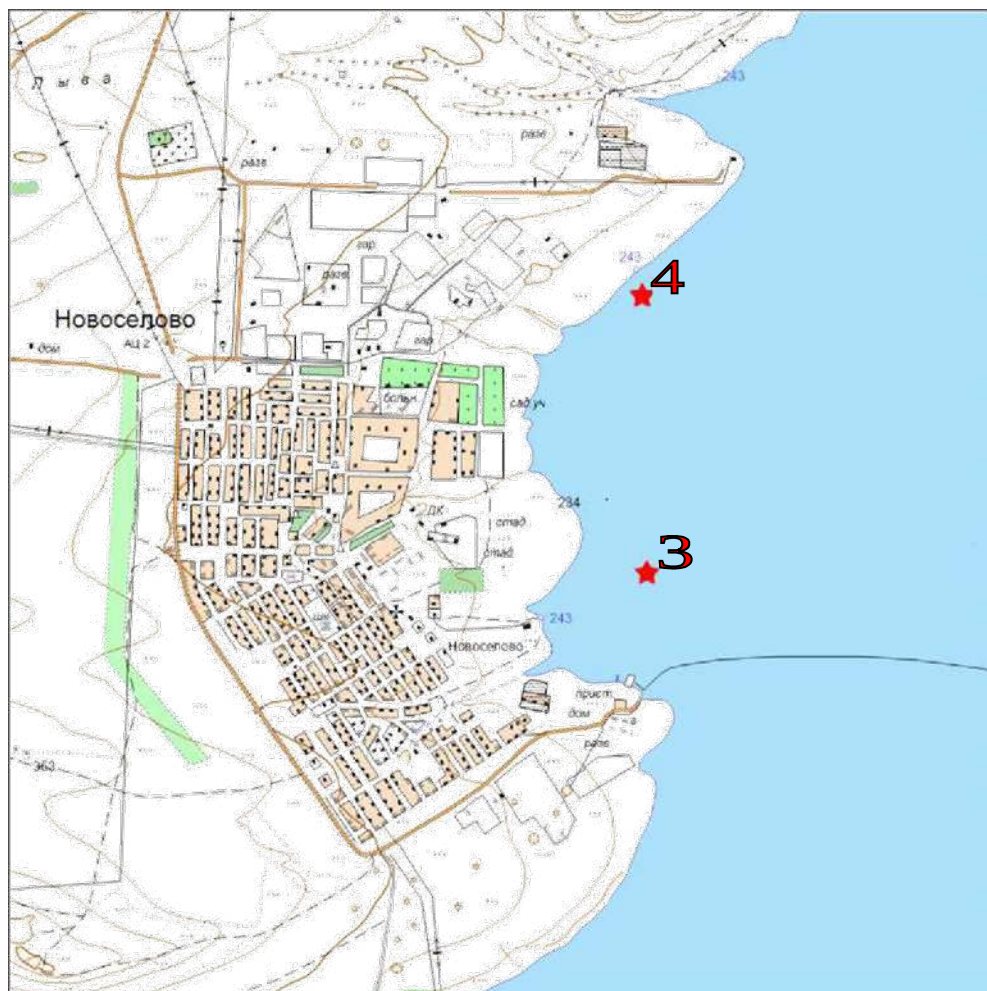


Примечание: 1 - Устьевой участок р. Биджа, 2 - Сыдинский залив, п. Краснотуранск



## Окончание приложения Б

Карта - схема сети пунктов наблюдений за состоянием поверхностных вод и донных отложений Красноярского водохранилища (по Программе мониторинга) [19]



Примечание: 3 - Новоселовский плес, 4 - п. Новоселово, 5 - Предплотинный участок



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Содержание загрязняющих веществ в пробах воды в створах пунктов наблюдений Красноярского водохранилища в 2013-2017 гг.

| Место отбора проб                              | Дата отбора | ПДК (рыбохоз) загрязняющих веществ |            |                 |                      |        |      |         |         |          |     |      |      |      |      |     |     |
|--|-------------|------------------------------------|------------|-----------------|----------------------|--------|------|---------|---------|----------|-----|------|------|------|------|-----|-----|
|  |             | Температура, °C                    | pH, ед. pH | Раств. кислород | БПК <sub>полн.</sub> | Фенолы | НФПР | Нитраты | Хлориды | Сульфаты | ХПК | Fe   | Cu   | Mn   | Zn   | Al  | Ni  |
| 1  | 2           | 3                                  | 4          | 5               | 6                    | 7      | 8    | 9       | 10      | 11       | 12  | 13   | 14   | 15   | 16   | 17  | 18  |
| Устье р. Биджа, 500 м выше, поверхность        | 2013        | 9,5                                | 7,7        | 10,9            | 0,42                 | 0, 7   | 0,48 | 0,02    | 0,01    | 0,06     | 0,4 | 4,2  | 1,6  | 0, 5 | 0, 3 | 1,1 | 0,1 |
|  | 2014        | 6,6                                | 7,8        | 10,5            | 0,49                 | 0, 9   | 0,40 | 0,02    | 0,01    | 0,06     | 0,5 | 2,6  | 1,6  | 1,6  | 0, 5 | 1,4 | 0,1 |
|  | 2015        | 9,2                                | 7,4        | 9,9             | 0,47                 | 0, 5   | 0,42 | 0,02    | 0,01    | 0,05     | 0,7 | 8,5  | 5,0  | 0, 4 | 0, 5 | 1,0 | 0,2 |
|  | 2016        | 10,5                               | 8,0        | 10,3            | 0,50                 | 0,8    | 0,43 | 0,01    | 0,01    | 0,08     | 0,4 | 5,2  | 2,3  | 1,2  | 0,4  | 1,2 | 0,2 |
|  | 2017        | 8,7                                | 7,9        | 10,2            | 0,48                 | 0,9    | 0,51 | 0,01    | 0,01    | 0,07     | 0,6 | 3,8  | 1,9  | 1,0  | 0,4  | 1,1 | 0,2 |
| Устье р. Биджа, 500 м выше, глубина 0,5h       | 2013        | 9,3                                | 7,7        | 10,7            | 0,43                 | 0, 6   | 0,46 | 0,01    | 0,01    | 0,06     | 0,4 | 4,0  | 1,5  | 0, 5 | 0, 2 | 1,0 | 0,1 |
|  | 2014        | 7,0                                | 7,8        | 10,3            | 0,49                 | 0, 7   | 0,40 | 0,01    | 0,01    | 0,07     | 0,6 | 2,4  | 1,6  | 1,5  | 0, 5 | 1,4 | 0,1 |
|  | 2015        | 8,9                                | 7,4        | 9,8             | 0,47                 | 0, 5   | 0,42 | 0,02    | 0,01    | 0,05     | 0,7 | 8,3  | 5,2  | 0, 4 | 0, 4 | 1,1 | 0,2 |
|  | 2016        | 10,3                               | 8,0        | 10,3            | 0,51                 | 0,6    | 0,41 | 0,02    | 0,01    | 0,07     | 0,3 | 5,1  | 2,3  | 1,1  | 0,4  | 1,2 | 0,2 |
|  | 2017        | 8,7                                | 7,9        | 10,1            | 0,49                 | 0,7    | 0,51 | 0,02    | 0,02    | 0,08     | 0,6 | 3,9  | 2,0  | 1,2  | 0,5  | 1,4 | 0,2 |
| Устье р. Биджа, 500 м выше, придонный горизонт | 2013        | 9,3                                | 7,8        | 10,9            | 0,42                 | 0, 5   | 0,48 | 0,01    | 0,01    | 0,06     | -   | 4,0  | 1,7  | 0, 5 | 0, 3 | 1,1 | 0,1 |
|  | 2014        | 6,5                                | 7,7        | 10,6            | 0,40                 | 0, 7   | 0,41 | 0,01    | 0,01    | 0,07     | 0,5 | 2,2  | 1,6  | 1,3  | 0, 5 | 1,4 | 0,1 |
|  | 2015        | 9,2                                | 7,8        | 9,9             | 0,41                 | 0, 5   | 0,42 | 0,02    | 0,01    | 0,05     | 0,7 | 8,1  | 5,5  | 0, 4 | 0, 5 | 1,0 | 0,2 |
|  | 2016        | 10,0                               | 8,0        | 10,5            | 0,42                 | 0,6    | 0,44 | 0,02    | 0,01    | 0,07     | 0,4 | 5,0  | 2,3  | 1,1  | 0,4  | 1,2 | 0,2 |
|  | 2017        | 8,7                                | 7,9        | 10,2            | 0,48                 | 0,9    | 0,51 | 0,02    | 0,02    | 0,08     | 0,7 | 4,2  | 2,5  | 1,5  | 0,6  | 1,1 | 0,2 |
| Устье р. Биджа, 500 м ниже, поверхность        | 2013        | 10,6                               | 7,8        | 10,9            | 0,49                 | 0, 7   | 0,40 | 0,02    | 0,01    | 0,09     | -   | 3,9  | 0, 7 | 0, 9 | 0, 3 | 1,0 | 0,1 |
|  | 2014        | 6,4                                | 7,7        | 10,7            | 0,61                 | 1,0    | 0,40 | 0,02    | 0,01    | 0,07     | 0,6 | 2,1  | 3,0  | 2,5  | 0, 6 | 1,7 | 0,1 |
|  | 2015        | 12,5                               | 7,8        | 9,8             | 0,53                 | 0, 5   | 0,40 | 0,02    | 0,01    | 0,06     | 0,7 | 8,4  | 1,0  | 0, 4 | 0,5  | 0,1 | 0,1 |
|  | 2016        | 10,3                               | 8,0        | 10,3            | 0,59                 | 0,7    | 0,42 | 0,02    | 0,02    | 0,09     | 0,5 | 4,1  | 0,9  | 1,1  | 0,4  | 1,2 | 0,2 |
|  | 2017        | 9,0                                | 7,9        | 10,0            | 0,62                 | 0,6    | 0,40 | 0,02    | 0,01    | 0,07     | 0,7 | 7,2  | 2,2  | 0,8  | 0,3  | 1,1 | 0,2 |
| Устье р. Биджа, 500 м ниже, глубина 0,5h       | 2013        | 10,3                               | 7,8        | 10,7            | 0,40                 | 0, 5   | 0,46 | 0,01    | 0,01    | 0,06     | -   | 3,9  | 1,0  | 0, 6 | 0, 4 | 1,1 | 0,1 |
|  | 2014        | 6,4                                | 7,4        | 10,2            | 0,43                 | 0, 7   | 0,40 | 0,01    | 0,01    | 0,06     | 0,5 | 2,4  | 2,9  | 1,3  | 0, 6 | 1,3 | 0,1 |
|  | 2015        | 11,3                               | 8,0        | 9,8             | 0,42                 | 0, 5   | 0,41 | 0,02    | 0,01    | 0,05     | 0,7 | 7,9  | 1,0  | 0, 4 | 0, 5 | 1,0 | 0,2 |
|  | 2016        | 10,1                               | 7,9        | 10,3            | 0,50                 | 0,7    | 0,43 | 0,02    | 0,02    | 0,08     | 0,4 | 5,2  | 1,0  | 1,1  | 0,4  | 1,2 | 0,2 |
|  | 2017        | 9,0                                | 7,4        | 10,1            | 0,51                 | 0,8    | 0,52 | 0,02    | 0,02    | 0,07     | 0,6 | 4,1  | 2,3  | 0,9  | 0,4  | 1,0 | 0,2 |
| Устье р. Биджа, 500 м ниже, придонный горизонт | 2013        | 10,2                               | 7,8        | 10,8            | 0,42                 | 0, 6   | 0,48 | 0,01    | 0,01    | 0,06     | -   | 4,2  | 0, 7 | 1,0  | 0, 3 | 1,1 | 0,1 |
|  | 2014        | 6,5                                | 7,7        | 10,5            | 0,49                 | 0, 7   | 0,41 | 0,01    | 0,01    | 0,06     | 0,5 | 2,6  | 3,0  | 1,5  | 0, 5 | 1,4 | 0,1 |
|  | 2015        | 10,7                               | 7,8        | 9,9             | 0,47                 | 0, 5   | 0,42 | 0,02    | 0,01    | 0,05     | 0,7 | 8,5  | 1,2  | 0, 4 | 0, 5 | 1,0 | 0,2 |
|  | 2016        | 10,0                               | 8,0        | 10,4            | 0,50                 | 0,7    | 0,45 | 0,02    | 0,01    | 0,08     | 0,4 | 5,2  | 1,0  | 1,1  | 0,4  | 1,2 | 0,2 |
|  | 2017        | 8,9                                | 7,9        | 10,2            | 0,48                 | 0,9    | 0,51 | 0,02    | 0,01    | 0,07     | 0,6 | 4,5  | 2,5  | 1,2  | 0,5  | 1,1 | 0,2 |
| Краснотуранск, 500м выше ОС, поверхность       | 2013        | 14,7                               | 8,0        | 11,1            | 0,70                 | 0,7    | 0,50 | 0,01    | 0,01    | 0,06     | -   | 15,0 | 1,2  | 0, 5 | 0, 4 | 1,0 | 0,1 |
|  | 2014        | 8,1                                | 8,0        | 10,7            | 1,93                 | 0,7    | 0,42 | 0,01    | 0,01    | 0,07     | 1,1 | 8,0  | 0,6  | 1,2  | 0, 5 | 1,0 | 0,1 |
|  | 2015        | 9,6                                | 7,7        | 10,3            | 0,87                 | 0,7    | 0,56 | 0,01    | 0,01    | 0,05     | 0,8 | 5,2  | 1,3  | 0, 4 | 0, 5 | 3,8 | 0,1 |
|  | 2016        | 12,9                               | 7,9        | 8,8             | 2,37                 | 0,7    | 0,52 | 0,01    | 0,03    | 0,05     | 0,9 | 2,5  | 2,0  | 0, 4 | 0, 4 | 1,0 | 0,1 |

## Продолжение приложения В

| 1   | 2    | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12  | 13   | 14   | 15   | 16   | 17  | 18   |
|---|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|------|
| Краснотуранск, 500м<br>выше ОС, глубина 0,5h          | 2013 | 14,6 | 8,1 | 11,0 | 0,71 | 0,6  | 0,49 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | -   | 2,5  | 1,2  | 0, 5 | 0, 4 | 1,0 | 0,1  |
|   | 2014 | 8,0  | 8,0 | 10,5 | 1,91 | 0,7  | 0,41 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | 1,0 | 2,1  | 1,0  | 1,1  | 0, 5 | 1,0 | 0,1  |
|   | 2015 | 9,4  | 7,8 | 10,3 | 0,85 | 0,7  | 0,54 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,8 | 17,2 | 1,2  | 0, 4 | 0, 5 | 3,0 | 0,1  |
|   | 2016 | 12,0 | 7,9 | 8,8  | 1,37 | 0,7  | 0,50 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,9 | 9,7  | 2,0  | 0, 4 | 0, 3 | 1,0 | 0,1  |
|   | 2017 | 10,5 | 8,2 | 9,4  | 0,30 | 0,5  | 0,40 | 0,02 | 0,02 | 0,09 | 0,9 | 6,2  | 2,2  | 0, 5 | 0, 5 | 1,0 | 0,2  |
| Краснотуранск, 500м<br>выше ОС, придонный<br>горизонт | 2013 | 14,4 | 8,0 | 10,9 | 0,72 | 0,7  | 0,50 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | -   | 2,2  | 1,1  | 0, 5 | 0, 5 | 1,0 | 0,1  |
|   | 2014 | 7,9  | 8,1 | 10,4 | 1,90 | 0,7  | 0,42 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 1,1 | 2,1  | 0,9  | 1,0  | 0, 6 | 1,0 | 0,1  |
|   | 2015 | 9,2  | 7,8 | 10,1 | 0,85 | 0,7  | 0,56 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,8 | 18,5 | 1,2  | 0, 4 | 0, 5 | 2,8 | 0,1  |
|   | 2016 | 12,1 | 7,9 | 8,8  | 1,35 | 0,7  | 0,52 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,9 | 9,7  | 1,9  | 0, 4 | 0, 4 | 1,0 | 0,1  |
|   | 2017 | 10,3 | 8,2 | 9,2  | 0,30 | 0,5  | 0,38 | 0,02 | 0,01 | 0,08 | 0,9 | 6,5  | 2,4  | 0, 5 | 0, 7 | 1,0 | 0,1  |
| Краснотуранск, 500м<br>ниже ОС, поверхность           | 2013 | 14,7 | 8,1 | 10,0 | 0,51 | 1,0  | 0,52 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | -   | 23,7 | 1,4  | 0, 6 | 0, 4 | 1,0 | 0, 2 |
|   | 2014 | 7,9  | 7,9 | 10,5 | 2,40 | 0,5  | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | 1,4 | 18,2 | 0,9  | 1,3  | 0, 4 | 1,0 | 0,1  |
|   | 2015 | 9,5  | 7,8 | 10,0 | 2,68 | 2,5  | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,07 | 0,8 | 11,7 | 1,6  | 0, 5 | 0, 6 | 1,0 | 0,1  |
|   | 2016 | 12,3 | 8,0 | 8,4  | 0,89 | 0, 5 | 0,74 | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,8 | 6,3  | 2,5  | 2,2  | 0, 4 | 1,0 | 1,1  |
|   | 2017 | 10,9 | 7,9 | 10,0 | 1,69 | 0, 7 | 0,64 | 0,01 | 0,03 | 0,10 | 0,8 | 4,3  | 3,0  | 0, 6 | 0, 9 | 1,0 | 0,2  |
| Краснотуранск, 500м<br>ниже ОС, глубина 0,5h          | 2013 | 14,5 | 8,0 | 11,0 | 1,51 | 1,2  | 0,50 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | -   | 26,1 | 1,0  | 0, 5 | 0, 4 | 1,0 | 0, 2 |
|   | 2014 | 7,8  | 7,9 | 10,3 | 2,45 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 1,3 | 18,0 | 0, 6 | 1,1  | 0, 4 | 1,0 | 0,1  |
|   | 2015 | 9,3  | 7,8 | 11,2 | 2,60 | 2,3  | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,8 | 11,1 | 1,3  | 0, 5 | 0, 6 | 1,0 | 0,1  |
|   | 2016 | 12,0 | 8,0 | 8,5  | 0,95 | 0, 5 | 0,72 | 0,01 | 0,02 | 0,06 | 0,9 | 8,3  | 2,1  | 2,0  | 0, 4 | 1,0 | 0, 2 |
|   | 2017 | 10,7 | 7,9 | 10,0 | 1,60 | 0, 5 | 0,60 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 0,8 | 6,2  | 3,2  | 0, 6 | 0, 8 | 1,0 | 0,1  |
| Краснотуранск, 500м<br>ниже ОС, придонный<br>горизонт | 2013 | 14,5 | 8,1 | 11,0 | 0,55 | 1,0  | 0,49 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | -   | 28,7 | 0,9  | 0, 6 | 0, 4 | 1,0 | 0,1  |
|   | 2014 | 7,7  | 7,9 | 10,5 | 2,40 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | 1,2 | 17,9 | 0, 6 | 1,3  | 0, 4 | 1,0 | 0, 2 |
|   | 2015 | 9,2  | 7,9 | 11,5 | 2,62 | 2,5  | 0,41 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,8 | 11,3 | 1,2  | 0, 5 | 0, 6 | 1,0 | 0,1  |
|   | 2016 | 12,0 | 8,0 | 8,7  | 0,89 | 0, 5 | 0,74 | 0,01 | 0,02 | 0,05 | 0,7 | 8,3  | 2,0  | 2,2  | 0, 4 | 1,0 | 0,1  |
|   | 2017 | 10,5 | 7,9 | 10,0 | 0,89 | 0, 5 | 0,60 | 0,01 | 0,02 | 0,09 | 0,8 | 6,0  | 3,5  | 0, 9 | 0, 9 | 1,1 | 0, 2 |
| Новосёловский плёс,<br>0,1В, поверхность              | 2013 | 10,3 | 7,9 | 9,9  | 0,89 | 0, 6 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,07 | 0,7 | 4,8  | 0, 9 | 0,5  | 0, 4 | 1,1 | 0,2  |
|   | 2014 | 8,1  | 8,0 | 11,1 | 0,57 | 1,1  | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,08 | 0,5 | 1,1  | 0, 4 | 0,3  | 2,1  | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2015 | 8,3  | 7,6 | 10,5 | 0,52 | 0, 5 | 0,46 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,5 | 2,1  | 1,9  | 1,3  | 0, 9 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2016 | 12,6 | 8,0 | 9,8  | 0,58 | 0, 6 | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,6 | 2,3  | 3,5  | 0,2  | 0, 5 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2017 | 10,3 | 8,0 | 10,8 | 0,58 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,10 | 0,6 | 2,3  | 1,0  | 0, 3 | 0, 2 | 1,0 | 0, 3 |
| Новосёловский плёс,<br>0,5В, поверхность              | 2013 | 10,4 | 7,8 | 10,0 | 0,41 | 1,1  | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,07 | 0,4 | 4,4  | 1,0  | 0, 6 | 0, 5 | 1,1 | 0, 1 |
|   | 2014 | 8,5  | 7,9 | 10,8 | 0,54 | 0, 8 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,6 | 1,4  | 0, 5 | 0,3  | 0, 4 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2015 | 8,8  | 7,7 | 10,3 | 0,39 | 0,6  | 0,44 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,5 | 1,8  | 1,6  | 0,3  | 0, 8 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2016 | 13,1 | 7,9 | 9,7  | 0,54 | 0,6  | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,4 | 2,0  | 1,4  | 0,3  | 0, 4 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2017 | 10,6 | 8,1 | 11,0 | 0,50 | 0,5  | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,10 | 0,5 | 2,2  | 1,0  | 0,5  | 0, 3 | 1,0 | 0,0  |
| Новосёловский плёс,<br>0,5В, глубина 0,5h             | 2013 | 3,6  | 7,9 | 13,1 | 1,30 | 0, 5 | 0,40 | 0,03 | 0,01 | 0,12 | 0,7 | 3,5  | 0, 6 | 1,0  | 0, 2 | 0,6 | 0, 1 |
|   | 2014 | 7,2  | 7,8 | 10,6 | 0,43 | 2,1  | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,5 | 2,0  | 5,4  | 0,5  | 1,8  | 1,6 | 0, 1 |
|   | 2015 | 9,1  | 7,6 | 10,1 | 0,47 | 1,1  | 0,54 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,5 | 1,8  | 1,1  | 0,3  | 0, 8 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2016 | 9,7  | 7,9 | 9,8  | 0,47 | 0,7  | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,5 | 2,0  | 1,7  | 0,3  | 1,1  | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2017 | 8,7  | 8,0 | 10,8 | 0,47 | 0,5  | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,10 | 0,6 | 2,5  | 1,3  | 0,9  | 0, 5 | 1,0 | 0, 3 |

## Продолжение приложения В

| 1  | 2    | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12  | 13  | 14   | 15   | 16   | 17  | 18   |
|--|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|
| Новосёловский плёс,<br>0,5В,<br>придонный горизонт | 2013 | 11,0 | 7,7 | 8,3  | 0,47 | 1,1  | 0,52 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | -   | 5,5 | 1,9  | 0,6  | 1,7  | 1,3 | 0, 2 |
|  | 2014 | 6,5  | 7,8 | 10,6 | 0,44 | 1,0  | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,5 | 1,9 | 1,0  | 0,4  | 1,4  | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2015 | 8,5  | 7,7 | 10,3 | 0,55 | 0, 6 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,5 | 2,0 | 1,2  | 0,3  | 0, 9 | 1,0 | 0, 3 |
|  | 2016 | 11,2 | 7,9 | 9,4  | 0,44 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,08 | 0,5 | 6,0 | 1,9  | 0,3  | 0, 9 | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2017 | 8,0  | 7,9 | 11,0 | 0,64 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,11 | 0,6 | 3,7 | 2,6  | 4,6  | 0, 9 | 1,0 | 0, 3 |
| Новосёловский плёс,<br>0,9В, поверхность           | 2013 | 10,5 | 7,8 | 8,8  | 0,45 | 1,0  | 0,52 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | -   | 5,4 | 1,9  | 0, 7 | 2,4  | 1,0 | 0, 4 |
|  | 2014 | 6,4  | 7,8 | 10,6 | 0,48 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,6 | 2,4 | 1,4  | 2,3  | 1,7  | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2015 | 9,3  | 7,6 | 10,0 | 0,56 | 0, 6 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 2,9 | 0,9  | 0, 9 | 0, 9 | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2016 | 11,7 | 7,8 | 9,7  | 0,59 | 0, 5 | 0,42 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,5 | 2,8 | 1,6  | 0, 2 | 0, 7 | 1,0 | 0, 2 |
|  | 2017 | 8,0  | 8,0 | 10,7 | 0,51 | 0, 5 | 0,42 | 0,02 | 0,03 | 0,11 | 0,5 | 2,3 | 1,0  | 0, 6 | 0, 1 | 1,0 | 0, 3 |
| Новосёловский плёс,<br>0,9В, глубина, 0,5h         | 2013 | 3,1  | 7,8 | 13,0 | 0,43 | 0, 5 | 0,40 | 0,03 | 0,00 | 0,12 | 0,5 | 1,9 | 0, 6 | 0, 7 | 0, 2 | 0,6 | 0, 1 |
|  | 2014 | 7,5  | 7,8 | 10,5 | 0,24 | 0, 9 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,5 | 1,8 | 1,1  | 0, 3 | 1,5  | 1,0 | 0, 3 |
|  | 2015 | 9,4  | 7,6 | 10,2 | 0,53 | 0, 5 | 0,46 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,4 | 1,8 | 1,2  | 0, 3 | 0, 7 | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2016 | 10,8 | 7,7 | 9,9  | 0,59 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,5 | 2,1 | 1,5  | 0, 2 | 0, 9 | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2017 | 9,3  | 7,9 | 10,2 | 0,50 | 0, 5 | 0,50 | 0,02 | 0,03 | 0,10 | 0,6 | 2,6 | 0, 9 | 0, 3 | 0, 3 | 1,0 | 0, 3 |
| Новосёловский плёс,<br>0,9В,<br>придонный горизонт | 2013 | 10,5 | 7,7 | 8,8  | 0,44 | 1,0  | 0,52 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | -   | 5,4 | 1,9  | 0, 7 | 2,4  | 1,0 | 0, 4 |
|  | 2014 | 6,4  | 7,8 | 10,6 | 0,48 | 0, 5 | 0,42 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,6 | 2,4 | 2,7  | 1,3  | 1,7  | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2015 | 9,3  | 7,6 | 10,0 | 0,56 | 0, 6 | 0,48 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 1,6 | 0,9  | 0, 3 | 0, 9 | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2016 | 11,7 | 8,0 | 9,7  | 0,67 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,5 | 3,6 | 1,6  | 0, 2 | 0, 7 | 1,0 | 0, 2 |
|  | 2017 | 8,1  | 8,0 | 10,7 | 0,73 | 0, 5 | 0,40 | 0,02 | 0,03 | 0,10 | 0,5 | 2,3 | 1,3  | 0, 2 | 0, 2 | 1,0 | 1,1  |
| Новосёлово, выше ОС,<br>поверхность                | 2013 | 10,2 | 7,9 | 10,0 | 0,38 | 0, 9 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,07 | 0,7 | 4,6 | 1,1  | 0, 6 | 0, 4 | 1,0 | 0, 3 |
|  | 2014 | 8,0  | 7,9 | 10,9 | 0,62 | 1,1  | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,4 | 1,6 | 0, 4 | 0, 6 | 0, 5 | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2015 | 8,9  | 7,6 | 10,3 | 0,50 | 0,6  | 0,42 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,4 | 3,1 | 0, 9 | 0, 6 | 0, 9 | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2016 | 13,2 | 8,0 | 10,0 | 0,60 | 0, 5 | 0,48 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,6 | 2,8 | 1,4  | 0, 2 | 1,1  | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2017 | 10,9 | 8,0 | 10,6 | 0,42 | 0, 5 | 0,42 | 0,01 | 0,03 | 0,10 | 0,5 | 1,1 | 0,9  | 0, 3 | 0, 3 | 1,0 | 0, 3 |
| Новосёлово, ниже ОС,<br>поверхность                | 2013 | 10,3 | 7,8 | 10,2 | 0,39 | 0, 7 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,07 | 0,6 | 4,7 | 1,5  | 0, 6 | 0, 5 | 1,1 | 0, 1 |
|  | 2014 | 8,0  | 7,9 | 11,0 | 0,64 | 0, 7 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,5 | 5,2 | 0, 9 | 0, 3 | 0, 4 | 1,0 | 0, 4 |
|  | 2015 | 8,5  | 7,7 | 10,3 | 0,58 | 0, 6 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,6 | 3,2 | 0,9  | 0, 3 | 0, 6 | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2016 | 13,1 | 8,1 | 9,9  | 0,52 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,7 | 2,2 | 1,8  | 0, 2 | 0, 3 | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2017 | 10,7 | 8,0 | 10,6 | 0,46 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 0,7 | 1,2 | 5,7  | 0, 4 | 0, 4 | 1,0 | 0, 3 |
| Предплотинный<br>участок, 0,1В,<br>поверхность     | 2013 | 8,1  | 8,0 | 11,1 | 0,39 | 0, 9 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | 0,3 | 1,2 | 0, 5 | 0, 4 | 0, 3 | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2014 | 5,4  | 7,8 | 11,7 | 0,51 | 0, 8 | 0,46 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 1,3 | 2,5  | 0, 3 | 0, 6 | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2015 | 8,6  | 7,8 | 11,7 | 0,70 | 0, 5 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,6 | 1,3 | 1,0  | 0, 3 | 0, 5 | 1,0 | 0, 2 |
|  | 2016 | 7,5  | 7,9 | 10,7 | 0,47 | 0, 5 | 0,42 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 0,6 | 1,4 | 1,2  | 0, 3 | 0, 5 | 1,0 | 0, 6 |
|  | 2017 | 7,8  | 8,0 | 10,9 | 0,53 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 0,6 | 2,1 | 1,4  | 0, 4 | 1,1  | 1,0 | 0, 2 |
| Предплотинный<br>участок, 0,1В,<br>глубина 0,5h    | 2013 | 8,8  | 7,8 | 10,1 | 0,39 | 0, 8 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | -   | 1,4 | 0, 6 | 1,1  | 0, 5 | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2014 | 4,2  | 7,8 | 11,7 | 0,52 | 0, 9 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 0,2 | 2,5  | 0, 3 | 0, 9 | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2015 | 7,8  | 7,7 | 11,0 | 0,59 | 0, 5 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,7 | 1,3 | 1,1  | 0, 3 | 0, 7 | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2016 | 6,6  | 7,8 | 10,7 | 0,44 | 0, 5 | 0,42 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 0,5 | 1,2 | 1,5  | 0, 3 | 0, 7 | 1,0 | 0, 1 |
|  | 2017 | 6,9  | 8,0 | 10,9 | 0,53 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 0,5 | 1,7 | 1,4  | 0, 3 | 0, 6 | 1,0 | 0, 2 |

## Окончание приложения В

| 1   | 2    | 3   | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12  | 13  | 14   | 15   | 16   | 17  | 18   |
|---|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|
| Предплотинный<br>участок, 0,1В,<br>придонный гор. | 2013 | 8,4 | 7,8 | 9,4  | 0,46 | 0, 7 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | -   | 1,2 | 0, 6 | 0, 4 | 1,4  | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2014 | 4,2 | 7,9 | 11,8 | 0,56 | 0, 9 | 0,42 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 1,3 | 1,8  | 0, 3 | 1,1  | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2015 | 5,3 | 7,6 | 11,2 | 0,57 | 0, 5 | 0,40 | 0,03 | 0,01 | 0,06 | 0,6 | 1,2 | 3,3  | 0, 3 | 0, 6 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2016 | 5,3 | 7,8 | 11,8 | 0,46 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 0,6 | 1,7 | 1,0  | 0, 3 | 0, 7 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2017 | 4,5 | 8,0 | 11,6 | 0,50 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 0,6 | 1,6 | 1,5  | 0, 3 | 0, 6 | 1,0 | 0, 1 |
| Предплотинный<br>участок, 0,5В,<br>поверхность    | 2013 | 7,8 | 8,0 | 10,6 | 0,52 | 0, 8 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,3 | 1,3 | 0, 7 | 0, 5 | 0, 3 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2014 | 4,8 | 8,0 | 11,3 | 0,55 | 0, 8 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 1,4 | 1,2  | 0, 4 | 0, 5 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2015 | 8,3 | 7,8 | 11,1 | 0,64 | 0, 5 | 1,61 | 0,01 | 0,01 | 0,08 | 0,6 | 1,3 | 1,1  | 0, 3 | 0, 6 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2016 | 7,5 | 7,8 | 10,9 | 0,37 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,08 | 0,5 | 1,2 | 1,2  | 0, 3 | 0, 6 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2017 | 7,8 | 8,1 | 10,9 | 0,58 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 0,5 | 1,6 | 1,1  | 0, 4 | 0, 4 | 1,0 | 0, 2 |
| Предплотинный<br>участок, 0,5В,<br>глубина 0,6h   | 2013 | 9,2 | 7,8 | 10,1 | 0,53 | 1,3  | 0,44 | 0,02 | 0,01 | 0,08 | 0,6 | 1,5 | 0, 9 | 0, 6 | 1,2  | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2014 | 4,3 | 7,9 | 11,8 | 0,49 | 0, 9 | 0,50 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 1,2 | 1,3  | 0, 3 | 1,2  | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2015 | 4,9 | 7,6 | 11,1 | 0,55 | 0, 5 | 0,40 | 0,03 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 1,0 | 1,4  | 0, 3 | 0, 6 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2016 | 5,4 | 7,9 | 10,5 | 0,46 | 0, 5 | 0,40 | 0,02 | 0,02 | 0,07 | 0,5 | 1,4 | 1,1  | 0, 3 | 0, 7 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2017 | 5,2 | 7,9 | 11,4 | 0,48 | 0, 5 | 0,40 | 0,02 | 0,02 | 0,10 | 0,5 | 2,2 | 1,2  | 0, 4 | 0, 5 | 1,0 | 0, 1 |
| Предплотинный<br>участок, 0,5В,<br>придонный гор. | 2013 | 8,8 | 7,9 | 9,2  | 0,45 | 1,2  | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,09 | -   | 1,5 | 0, 8 | 0, 8 | 0, 4 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2014 | 4,9 | 7,9 | 11,2 | 0,55 | 2,7  | 0,46 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 1,3 | 2,2  | 0, 5 | 2,6  | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2015 | 4,5 | 7,6 | 10,9 | 0,45 | 0, 5 | 3,4  | 0,03 | 0,01 | 0,05 | 0,6 | 1,2 | 1,0  | 0, 4 | 0, 8 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2016 | 5,0 | 7,9 | 10,8 | 0,47 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 0,6 | 1,4 | 0, 9 | 0, 3 | 0, 6 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2017 | 3,7 | 8,0 | 11,5 | 0,53 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 0,5 | 2,7 | 1,3  | 0, 4 | 0, 8 | 1,0 | 0, 2 |
| Предплотинный<br>участок, 0,9В,<br>поверхность    | 2013 | 9,4 | 7,9 | 11,0 | 0,50 | 0, 8 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | 5,1 | 2,1 | 0,7  | 0, 5 | 0, 6 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2014 | 7,2 | 7,9 | 10,7 | 0,56 | 0, 9 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 7,8 | 1,1 | 0,7  | 0, 6 | 0, 6 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2015 | 7,6 | 7,8 | 11,1 | 0,51 | 0, 5 | 0,52 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | -   | 1,1 | 0,8  | 0, 3 | 0, 6 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2016 | 7,5 | 7,9 | 10,9 | 0,41 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 7,7 | 1,1 | 1,3  | 0, 2 | 0, 6 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2017 | 7,5 | 8,1 | 10,8 | 0,60 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 7,9 | 1,5 | 1,5  | 0, 3 | 0, 4 | 1,0 | 0, 1 |
| Предплотинный<br>участок, 0,9В,<br>глубина 0,3h   | 2013 | 3,2 | 7,9 | 13,4 | 0,66 | 1,0  | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,10 | 7,0 | 1,0 | 1,0  | 0, 3 | 0, 7 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2014 | 4,3 | 7,9 | 10,6 | 0,64 | 0, 9 | 0,48 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 8,8 | 2,1 | 1,1  | 0, 4 | 1,7  | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2015 | 7,6 | 7,6 | 11,2 | 0,71 | 0, 5 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 8,7 | 1,1 | 1,4  | 0, 6 | 0, 9 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2016 | 7,5 | 7,6 | 11,5 | 1,42 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 7,6 | 1,2 | 1,2  | 0, 2 | 0, 6 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2017 | 6,1 | 8,0 | 11,2 | 0,60 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 7,3 | 1,4 | 1,8  | 0, 4 | 0, 5 | 1,0 | 0, 2 |
| Предплотинный<br>участок, 0,9В,<br>придонный гор. | 2013 | 6,5 | 7,8 | 10,1 | 0,52 | 0, 8 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | -   | 1,6 | 1,3  | 0, 5 | 1,4  | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2014 | 4,3 | 7,9 | 10,7 | 0,61 | 0, 8 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 7,0 | 1,4 | 1,2  | 0, 7 | 1,2  | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2015 | 4,3 | 7,6 | 11,2 | 0,52 | 0, 5 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,04 | 7,7 | 1,0 | 1,2  | 0, 4 | 0, 8 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2016 | 5,7 | 7,9 | 10,7 | 0,40 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 7,9 | 1,5 | 1,0  | 0, 4 | 0, 6 | 1,0 | 0, 2 |
|   | 2017 | 4,1 | 8,0 | 11,1 | 0,60 | 0, 5 | 0,44 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 8,2 | 1,9 | 1,3  | 0, 4 | 0, 4 | 1,0 | 0, 1 |

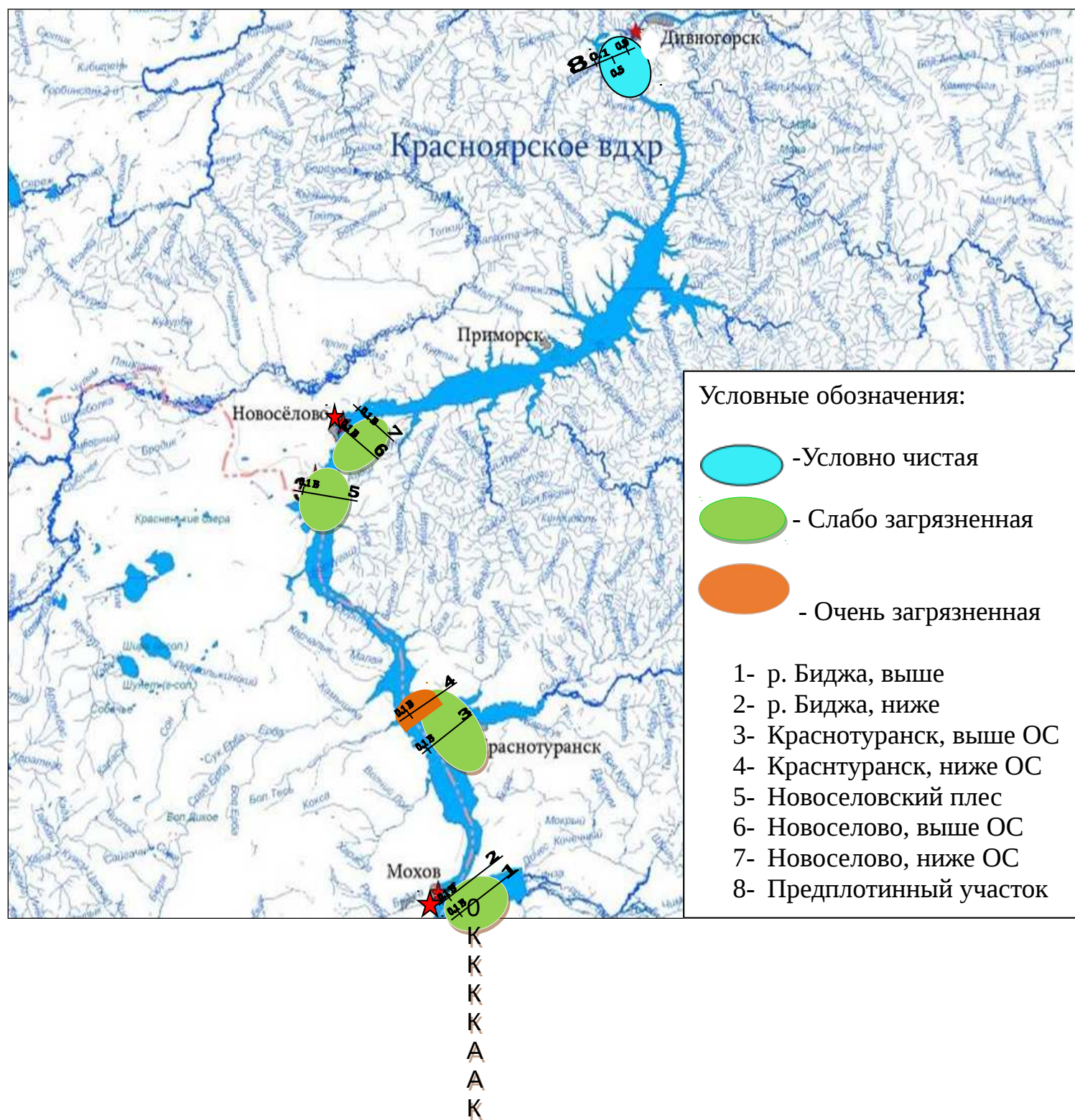
## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Предельно допустимые концентрации (ПДК<sub>рыбох.</sub>) основных загрязняющих веществ, определяемых в воде Красноярского водохранилища (мг/л)

| Ингредиент | Азот<br>аммон. | БПК <sub>полн</sub> | ХПК | Фосфат<br>ы | Сульфаты | Хлориды | Фенолы | НФПР | Железо | Марганец | Медь  | Цинк | Никель | Свинец | Ртуть   |
|------------|----------------|---------------------|-----|-------------|----------|---------|--------|------|--------|----------|-------|------|--------|--------|---------|
| ПДК        | 0,4            | 3,0                 | 15  | 0,2         | 100      | 300     | 0,001  | 0,05 | 0,1    | 0,01     | 0,001 | 0,01 | 0,01   | 0,006  | 0,00001 |

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

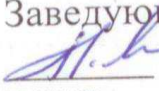
Карта - схема расположения пунктов наблюдений за состоянием поверхностных вод и донных отложений (по Программе мониторинга) и зон загрязненности воды (по значению УКИЗВ) на Красноярском водохранилище





Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт экологии и географии  
Кафедра географии

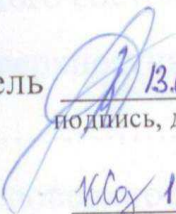
УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
 Г.Ю.Ямских  
подпись      инициалы, фамилия  
« 13 » 06 2018г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

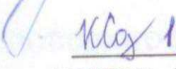
Оценка гидрохимического состояния воды  
и химического состояния донных отложений  
Красноярского водохранилища (2013-2017 гг.)

05.04.06 Экология и природопользование

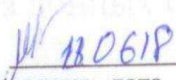
05.04.06.03 Геоэкология

Научный руководитель  13.06.18 доцент, к.б.н.  
подпись, дата      должность, ученая степень

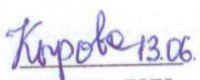
О. А. Кузнецова  
инициалы, фамилия

Выпускник  13.06.18  
подпись, дата

К. Н. Салаватов  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер  13.06.18  
подпись, дата

М. И. Кокова  
инициалы, фамилия

Рецензент  13.06.18 канд. геогр.наук  
подпись, дата      должность, ученая степень

С. А. Кырова  
инициалы, фамилия

Красноярск 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 3  |
| 1 Водохранилища и их влияние на состояние окружающей природной среды...                          | 7  |
| 2 Общая характеристика глубоководного Красноярского водохранилища.....                           | 14 |
| 2.1 Краткая история изучения водного объекта.....  | 14 |
| 2.2 Географическое положение и основные характеристики водохранилища.....                        | 17 |
| 2.3 Гидрологический режим.....   | 22 |
| 2.4 Гидротермический режим.....  | 23 |
| 2.5 Гидрохимический режим.....   | 25 |
| 2.6 Гидробиологический режим.....  | 26 |
| 3 Основные источники загрязнения Красноярского водохранилища.....                                | 32 |
| 4 Материалы и методика исследований водного объекта .....  | 36 |
| 4.1 Основные положения программы мониторинга Красноярского водохранилища...                      | 36 |
| 4.2 Характеристика сети наблюдений и перечень контролируемых показателей....                     | 37 |
| 4.3 Методы и материалы исследований.....   | 40 |
| 5. Результаты исследований состояния воды и донных отложений<br>Красноярского водохранилища..... | 45 |
| 5.1 Исследование гидрохимического состояния воды .....   | 45 |
| 5.2 Анализ химического состояния донных отложений водоема.....                                   | 60 |
| 6 Оценка качества поверхностных вод и донных отложений Красноярского<br>водохранилища .....      | 69 |
| 6.1 Оценка качества поверхностных вод.....   | 69 |
| 6.2 Качественный анализ донных отложений водного объекта.....                                    | 73 |
| Выводы.....  | 76 |
| Список сокращений.....   | 77 |
| Список литературных источников.....  | 79 |
| Приложения А-Д.....  | 84 |



## ВВЕДЕНИЕ

Реки России являются основой для развития гидроэнергетики. При строительстве ГЭС одновременно создаются и водохранилища гидроэлектростанций, в которых аккумулируются значительные запасы пресной воды. Водоохранилища ГЭС представляют собой искусственные водные объекты, комплексное использование которых позволяет решать многообразные социально-экономические и водохозяйственные задачи. Их основным назначением является выравнивание стока речных вод, его регулирование для обеспечения целесообразной работы гидроэлектростанций. Они также используются для орошения, обводнения земель, водоснабжения населенных пунктов и предприятий, улучшения судоходства, предотвращения наводнений, для рыбного хозяйства и рекреации.

Вместе с тем водохранилища вносят в природу и хозяйство территорий, на которых они созданы, ряд побочных нежелательных изменений, часто перерастающих в экологические проблемы. Как следствие активной хозяйственной деятельности в водохранилищах могут происходить изменения их абиотической и биотической составляющих. Известно, что водохранилища значительно меняют режим стока рек, уменьшают перемещение водных масс, замедляют процесс водообмена. В момент заполнения чаши водохранилища водой затопливаются огромные участки ценных сельскохозяйственных угодий, лесные массивы и другие площади, что, в свою очередь, прекращает их дальнейшее использование. При создании водохранилищ на месте затопления прилегающей территории почвы, остатки естественной растительности превращаются в органические питательные вещества, в результате чего создаются условия для активного развития синезеленых водорослей, постепенно изменяется гидрохимический состав воды. Периодические колебания уровня воды в водохранилищах вызывают размывы и обрушение берегов, что приводит к расширению площади, занимаемой данными водными объектами. Строительство ГЭС, как правило, влечет за собой промышленное развитие региона, что предполагает строительство новых заводов и городских агломераций, а это, как правило, ведет к загрязнению вод, аккумуляции загрязняющих веществ в водохранилищах.

В соответствии с Водным Кодексом Российской Федерации водохранилища ГЭС относятся к федеральной собственности, так как, являясь государственным стратегическим запасом пресной воды России. Отсюда возникает необходимость в более полном изучении экологического состояния воды, как одного из важных компонентов общей экологической ситуации данных водных объектов. Исследования качества воды и донных отложений водохранилищ проводится в рамках системы режимных долгосрочных наблюдений (мониторинга), которая предусматривают

контроль их состояния, оценку и прогноз изменений, происходящих под влиянием антропогенной деятельности.

Как показывает опыт мониторинговых наблюдений, в результате активной хозяйственной деятельности в водохранилищах могут происходить изменения, неизменно влекущие за собой процессы эвтрофирования, ацидофикации, загрязнения и ухудшения качества воды и донных отложений. В последние десятилетия накоплен обширный материал по изучению становления экологического режима водохранилищ, развитию и изменению их абиотической и биотической составляющих. Формирование качества воды и донных отложений в условиях водохранилищ представляет собой сложный процесс, зависящий от особенностей стока и взаимодействия большого числа факторов, изучение которого более чем актуально для разработки методов управления им, как в водной системе в целом, так и на отдельных ее участках.

Мониторинг водохранилищ направлен на получение объективной информации об изменениях, происходящих в водохранилищах, необходимой для своевременного определения и прогнозирования процессов загрязнения, ухудшающих качество воды, а так же разработки и реализации мер по предотвращению поступления загрязняющих веществ в водоемы для предотвращения полного истощения его вод. В зависимости от вида водного объекта и характера решаемых задач системы мониторинга строятся по-разному, однако, во всех случаях в эту систему включаются следующие обязательные блоки: мониторинг источников загрязнения, гидрологический мониторинг, гидрохимический мониторинг и гидробиологические наблюдения.

**Цель** – оценить гидрохимическое состояние воды и химическое состояние донных отложений глубоководного Красноярского водохранилища.

**Задачи:**

1. Рассмотреть особенности влияния водохранилищ на состояние окружающей природной среды;
2. Дать общую характеристику глубоководного Красноярского водохранилища, включая краткую историю изучения, основные характеристики и типы режимов;
3. Провести анализ гидрохимического состояния вод и донных отложений исследуемого водного объекта на основе показателей, полученных в рамках мониторинга;
4. Осуществить оценку качества поверхностных вод и донных отложений Красноярского водохранилища.

**Объектом исследований** является уникальный водоем Сибири - Красноярское водохранилище.

**Предмет исследования** - гидрохимические показатели воды и донных отложений как индикаторов экологического состояния водохранилища.

**Методы исследования:** теоретический, статистический, аналитический. В процессе работы автором были выполнены натурные обследования, отбор проб для определения содержания загрязняющих веществ в воде и донных отложениях водохранилища, математическая обработка полученного материала с помощью автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов Российской Федерации «АИС ГМВО», графическое оформление данных, количественный и качественный анализ гидрохимических показателей воды и донных отложений водохранилища, и оценка степени загрязненности водного объекта.

**Актуальность исследования.** Водохранилища являются водными объектами, которые находятся под многофакторным антропогенным воздействием, влияющим на их гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режимы. Красноярское водохранилище представляет собой крупнейшим водоемом Сибири и имеет важное экологическое и хозяйственное значение для региона. Это уникальный водный объект, который по сочетанию физических, химических и биологических характеристик, не имеет аналогов. Водохранилище включает несколько участков, находящихся в разных ландшафтных зонах и имеющих антропогенную нагрузку разного уровня, в связи с этим особое значение при существующем режиме эксплуатации водных ресурсов водоема приобретает разработка вопросов его оптимального использования в целях интересов рыбного хозяйства и сохранения высокого качества воды как источника питьевого водоснабжения. Недостаточная изученность гидрохимического состояния поверхностных вод и донных отложений водохранилища определяют актуальность проведения мониторинговых исследований и необходимость отслеживания негативных процессов, происходящих в водном объекте, с целью предотвращения полного истощения его вод.

**Научная новизна и теоретическая значимость** данной исследовательской работы заключается в получении и обработке автором материалов, которые позволяют дать объективную оценку антропогенного влияния на важный водный объект Красноярского края, в том числе на его экологическое состояние. Результаты и выводы исследовательской работы расширяют знания о современном состоянии экосистемы Красноярского водохранилища.

**Практическая значимость** исследования определяется возможностью применения полученных результатов для оценки рисков возникновения загрязнения водной среды и донных отложений в условиях возрастающего антропогенного воздействия и нарушения экологического равновесия в водохранилищах. Данные по загрязнению воды и донных отложений могут служить в качестве рекомендаций водопользователям при проведении комплекса мероприятий, направленных на снижение экологической нагрузки (в виде загрязнения) на водные объекты Красноярского края и для выявления

критических моментов с целью корректировки методики расчета вреда с учетом региональных особенностей.

**Апробация работы.** Материалы диссертации докладывались на XX Международной научной школе-конференции студентов и молодых ученых «Экология Южной Сибири и сопредельных территорий» (г. Абакан, 2016 г.), X Международной научно-практической конференции молодых ученых «Устойчивое развитие: Региональные аспекты» (г. Брест, 2018 г.), XIV Международной научно-практической конференции «Eurasiascience» (г. Москва, 2018 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 3 работы.

**Исходные материалы и личный вклад автора.** Исходные материалы получены в результате экспедиционных съемок на Красноярском водохранилище в рамках Программы мониторинга на базе Енисейское БВУ и ФГУ «Енисейрегионводхоз» (система Росводресурсов) в период 2013-2017 гг. Работа выполнена на кафедре географии Института экологии и географии Сибирского федерального университета. Автор принимал непосредственное участие в отборе проб воды и данных отложений водохранилища, самостоятельно осуществил обработку и анализ большого объема исходных данных, и формирование базы данных по гидрохимическим показателям водного объекта с использованием современных методов обработки.

## **1 Водохранилища и их влияние на состояние окружающей природной среды**

Водоохранилища представляют собой искусственные водные объекты, управляемые человеком, при этом испытывающие сильнейшее воздействие природных факторов. Поэтому как объекты изучения, использования и управления, искусственные водохранилища занимают промежуточное положение между «чисто природными» и «чисто техническими» образованиями, что дает право именовать их природно-техническими системами. Всем водохранилищам свойственна особая система так называемых внутри водоемных процессов – гидрологических, гидрохимических и гидробиологических.

Как известно, создание водохранилищ влечет за собой ряд негативных последствий для окружающей среды: затопление ландшафтов и плодородной земли, пригодной для сельхозпроизводства; изменение гидрологического режима (колебания уровня, замедление течения в водохранилищах); эрозию береговой линии водохранилищ, переформирование берегов и дна водоемов, устьевых участков рек, впадающих в водохранилища, формирование баров; появление на акватории водохранилищ запасов плавающей древесины вследствие береговой эрозии; изменение уровня грунтовых вод, температурного режима водной массы и окружающей среды; повышение влажности, появление интенсивных и продолжительных по времени туманов; увеличение площади водного зеркала; дополнительные потери воды на испарение; изменение гидрохимического состава воды в водохранилищах; перестройку растительного и животного мира; нарушение условий нерестилищ рыбы, опасность провокации колебания земной коры в связи с сооружением крупных плотин и водохранилищ и т. д. [1, 4, 63, 65].

При образовании водохранилищ происходит прямое затопление и уничтожение обширных площадей земель (в том числе особо плодородных), населенных пунктов, промышленных объектов. По данным Кадастра водохранилищ объемом более 1 млн. м<sup>3</sup>, составленного ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, в настоящее время затоплено около 6,0 млн. га приречных территорий, на которых были расположены 3,0 млн. га сельскохозяйственных угодий, 5000 сельских и 106 городских и поселковых пунктов с общей численностью населения более 1 миллиона человек. В зону затопления попало около 1 тыс. км железных и 5 тыс. км автомобильных дорог, 1200 промышленных предприятий и других объектов народного хозяйства. Так, при строительстве одной только Красноярской ГЭС было затоплено 120 тыс. га пашни и угодий, остальные расчленены заливами и стали малопригодны для землепользования. Из-за трудностей с лесоочисткой лежа на неудобьях под воду ушли значительные объемы лесных массивов, а также отходы рубки и тонкомерный лес [2]. В таблице 1 представлена количественная оценка последствий реализации решений по ГЭС -

результаты затопления земель - на примере ряда водохранилищ Ангаро-Енисейского бассейна.

Таблица 1 - Результаты затопления земель водохранилищами Ангаро-Енисейского каскада ГЭС [4]

| Показатель                                     | Водохранилище |                 |             |          |               |
|--|---------------|-----------------|-------------|----------|---------------|
|  | Красноярское  | Саяно-Шушенское | Богучанское | Братское | Усть-Илимское |
| Год заполнения водохранилища                   | 1970          | 1986            | 2013        | 1963     | 1975          |
| Общая площадь затопления, тыс. га              | 175           | 55              | 151         | 511      | 154           |
| В том числе:                                   |               |                 |             |          |               |
| - сельскохозяйственные угодья                  | 120           | 18,3            | 29,6        | 166,3    | 21,3          |
| - лес и кустарники                             | 38            | 30,5            | 121,4       | 326,9    | 127,8         |
| Площадь лесосводки и лесоочистки, тыс. га      | 13,0          | 3,6             | 121,4       | 253,9    | 37,9          |
| Объем лесосводки, млн. м <sup>3</sup>          | 0,44          | 1,4             | 10,6        | 32,0     | 11,9          |
| Объем плавающей древесины, млн. м <sup>3</sup> | 0,1           | 0,7             | 2,0         | 2,2      | 0,9           |

При создании водохранилищ в зону затопления также попадают неразведанные месторождения полезных ископаемых, что приводит к их утере. Происходит разрушение наземных экосистем в зоне будущего затопления и прилегающих районов в процессе строительных работ и подготовки ложа водохранилища. Уничтожение растительного покрова, прокладка дорог и других линейных сооружений, подрезка склонов приводит к активизации негативных геоморфологических процессов: склоновых обвалов и оползней, эрозии, деградации многолетней мерзлоты. В период строительства водохранилищ в результате усиления эрозионных процессов и смыва различных отходов происходит, как правило, наибольшее загрязнение реки, в том числе нефтепродуктами и тяжелыми металлами.

Создание плотин сопровождается также появлением новых границ воды и суши с обновленными активными процессами. Смещение береговой линии образуют обширные территории, в пределах которых коренным образом меняется структура ландшафтов. Формирование зоны подтопления вдоль берегов водохранилищ приводит к постепенному заболачиванию территории, в результате ухудшается качество или полностью выводятся из оборота земли сельскохозяйственного назначения [3, 66].

Формирование и эксплуатация водохранилищ ГЭС приводит к коренному изменению гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов рек. В наибольшей степени эти

преобразования проявляются при создании глубоководных водохранилищ, к числу которых относится Красноярское водохранилище.

В последние десятилетия практически на всей территории России основными особенностями изменения сезонного стока рек, зарегулированных ГЭС, стало увеличение их водности в зимний период, более раннее вскрытие и позднее образование ледяного покрова. Так, зарегулирование стока плотиной Красноярской ГЭС привело к кардинальному изменению гидрологического режима реки, который теперь полностью определяется графиком работы ГЭС. Значительно (в 3-5 раз) сократились расходы воды в период весеннего половодья. Ошибки же регулирования пропусков воды, как правило, приводят к новым дополнительным зимним наводнениям [10, 26].

Важной проблемой связанной с функционированием водохранилищ является переработка берегов, возникающая непосредственно вслед за заполнением водохранилища, и связанная с береговой эрозией под влиянием волноприбойной деятельности, колебаний уровня воды и других факторов, формирующих береговую линию. Размывы берегов в водохранилищах могут достигать до сотни метров, а переработка береговой зоны может повлечь за собой образование аккумулятивных участков, заиливание ложа водохранилища, и как следствие - уменьшение стока в нижнем бьефе. Кроме того, мельчайшие частицы грунта, переходящие во взвесь и остающиеся во взвешенном состоянии в виде мути, существенно меняют качество воды водохранилищ. Растворенными в воде оказываются и органические вещества, поступающие в результате размыва берегов. В итоге вода на отдельных участках водоемов зачастую становится типично «мертвой», поскольку происходит понижение содержания кислорода, уровня кислотности, накопление ядовитых веществ [7, 17, 25].

Существующие подходы к подготовке ложа водохранилищ не отвечают экологическим интересам. Как известно, недостаточная подготовка ложа водохранилищ к затоплению, проведение лесосводки не в полном запланированном объеме или практически полное отсутствие лесосводки и лесочистки перед заполнением создаваемых водных объектов становятся причиной негативных последствий. Наличие больших объемов древесины в зоне затопления водохранилищ, например, таких как Красноярское и Саяно-Шушенское, оказывает неблагоприятное воздействие на качество воды в водохранилищах. Активное обрушение лесопокрывных берегов, нарушение технологий лесосплавных работ на водохранилищах и на реках, впадающих в них, а также стихийные явления, которые неизбежны на таких пространствах, приводят к увеличению количества плавающей древесной массы. Так, в уничтоженном водой лесном массиве Енисейских водохранилищ на каждом затопленном квартале от 100 до 300 кубометров леса, однако проведение сплошной сводки древесной растительности в ложе ГЭС было признано экономически не целесообразным. В результате таких

решений только в заливах водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС образовалось скопление древесной массы объемом около 1 млн. м<sup>3</sup>, закономерно вызывающее существенное ухудшение качественных показателей воды, (увеличение содержания аммонийного азота, фосфатов, органических веществ, фенолов), делая ее ядовитой, непригодной для водопотребления [2, 11, 26]. Сегодня приходится устранять просчеты прошлых лет. Только проект очистки водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС от топляка, реализуемый по заказу Федерального агентства водных ресурсов, был рассчитан на период более 10 лет.

В водохранилищах происходит также подтопление берегов в весенне-летний и осенний периоды. Это опасное явление вызвано увеличением влажности почв и грунтов в результате повышения уровня грунтовых вод. При этом изменяются не только уровни подземных вод, но и их гидрохимический режим, влажностный и солевой режимы грунтов зоны аэрации, физико-химические свойства грунтов, почвообразовательные процессы и др. Как следствие резко ухудшается жизнедеятельность растений, разрушаются фундаменты сооружений и происходит ряд сопутствующих опасных нарушений геологической среды. В конечном итоге, это приводит к значительному эколого-экономическому ущербу [7, 56].

Относительно высокие температуры воды в придонных горизонтах водохранилищ, а также глубинное расположение водозаборных окон ГЭС являются основными причинами образования в зимний период значительных по протяженности участков открытой воды в нижнем бьефе ГЭС. Так на участке реки ниже плотины Красноярской ГЭС образуется незамерзающая полынья, кромка которой в отдельные годы может спускаться более чем на 270 км от плотины ниже по течению. Зимой, после установления ледостава, имеют место резкие (до 4-6 м) повышения уровня воды на отдельных участках реки, связанные с зашугованностью русла и образованием «зажорных» явлений. Часто такие подъемы уровня воды вызывают подтопления близлежащих населенных пунктов. Влияние Красноярской ГЭС на уровенный и ледовый режим Енисея прослеживается более чем на 900 км, до устья реки Подкаменная Тунгуска.

Происходят неблагоприятные изменения и в климатических режимах зон водохранилищ, наиболее резко проявляющиеся в нижнем бьефе, где зимой образуется полынья длиной в несколько десятков километров, а летом наоборот температуры воды понижены. В связи с изменением климата на водосборах водохранилищ изменились гидрологические режимы рек Ангаро-Енисейского бассейна, увеличилась повторяемость, величина и синхронность экстремальных паводков и засух. Создание водохранилищ оказывает существенное воздействие и на климат целых регионов, поскольку в результате их создания сильно возрастает площадь испарения воды, сокращается общий сток реки, а в других районах - увеличивается



уровень осадков. Сооружение на реке каскада гидроэлектростанций может вызвать резкое снижение температуры воды в нижнем течении реки, поскольку потенциальная энергия воды, ранее шедшая на ее нагрев, после создания гидроэлектростанций расходуется на вращение турбин. При этом снижение температуры воды реки даже на один градус может оказать значительное влияние на климат в ее низовье [17, 27].

Основные экологические проблемы гидроэнергетики связаны с качеством водной среды. Загрязнение воды водохранилищ часто вызвано не технологическими процессами производства электроэнергии на ГЭС (объемы загрязнений, поступающие со сточными водами ГЭС, составляют ничтожно малую долю в общей массе загрязнений хозяйственного комплекса), а низким качеством санитарно-технических работ при создании водных объектов. При этом существенными факторами, под воздействием которых происходит формирование гидрохимического режима, являются: природные фоновые характеристики качества воды; морфометрические характеристики водохранилища (в т. ч. числе глубина сработки уровня воды и мертвый объем); водообмен и степень проточности; процессы образования и таяния льда; процессы биологического самоочищения водоема; температура воды; смещение фаз гидрохимического режима и амплитуды максимумов концентрации примесей; режим поступления загрязняющих веществ (в т. ч. химических веществ, с высокой сорбционной способностью), особенно при аварийных ситуациях; химический состав пород и подземных вод ложа и бортов водохранилища.

Достаточно высок уровень антропогенной нагрузки на водохранилища ГЭС. Расположение водосборной площади реки, как правило, на густонаселенной и урбанизированной территории с развитым сельским хозяйством, масштабное гидростроительство, зарегулирование стока, интенсивное водопотребление, загрязнение воды и прибрежной зоны, создают сложную санитарно-биологическую и экотоксикологическую ситуацию [4, 14, 56].

В первые годы после заполнения водохранилищ, в них появляется много разложившейся растительности, а «новый» грунт может резко снизить уровень кислорода в воде. Гниение органических веществ нередко приводит к выделению огромного количества парниковых газов - метана и двуокиси углерода. Водоохранилища часто «созревают» десятилетиями или дольше, пока протекает процесс разложения большей части всей органики.

Засоренность ложа водохранилищ, недостаточная очистка сточных вод, поступающих в них от водопользователей, расположенных на его берегах, на фоне сниженных процессов самоочищения, ввиду замедления водообмена, создают благоприятные условия для развития синезеленых водорослей, ускоряющих процесс эвтрофирования водоемов. Ежегодное массовое «цветение» водорослей в водохранилищах делает их воду малопригодной для промышленного использования и хозяйственных нужд [11, 13, 57].

Все выше перечисленные негативные факторы вызывают изменение видовой структуры и снижение видового разнообразия биоты водохранилищ, сокращение ее численности и биомассы, формирование новых биоценозов. Происходит также перестройка наземных экосистем, большая часть видов животных погибает, сохраняются лишь те виды, которые смогли выжить и адаптироваться к изменившимся условиям среды вследствие создания и функционирования водохранилищ. Данное воздействие выражается в потере мест обитания (и/или гнездования) за счет затопления и переработки береговой зоны, изменении типа растительности или сокращении ее площадей в зоне подтопления, влиянии фактора беспокойства (строители, карьеры, автодороги) и мн. др.

Изменение гидрологического режима, после зарегулирования стока рек, например такой реки как Енисей, в значительной степени нарушает структуру речного ихтиоценоза. Полностью перестраивается система мест обитаний рыб. Блокируется возможность сезонных миграций проходных и полупроходных рыб. На обилии оседлых стад рыб сказывается отчуждение традиционных мест нереста, перестройка условий нереста, нагула и зимовок, трансформация основных нерестовых участков и зимовальных ям. Проблема усугубляется и тем, что рыбопропускные сооружения на гидроузлах, там, где они есть, показали свою крайне низкую эффективность. Со времен пуска первых гидроэлектростанций известно о массовой гибели рыб и планктона в турбинах ГЭС. Это явление является одним из наиболее негативных антропогенных воздействий водохранилищ. Тысячи эксплуатируемых в мире ГЭС ежегодно «перемалывают» турбинами сотни млн. тонн живых организмов зарегулированных рек, разрушая экологические системы водных объектов. И, как результат, наблюдается резкое уменьшение рыбопродуктивности водных объектов, снижение процессов самоочищения рек, возрастание негативной роли хозяйственных стоков, непрерывное загрязнение водоемов мертвой органикой, и, в конечном итоге, прогрессирующее ухудшение качества воды [53, 62].

Еще одним негативным последствием, а точнее опасностью, является провокации колебания земной коры в связи с сооружением крупных плотин и водохранилищ, так называемая «наведенная сейсмичность». Так, в последнее время в районе Саяно-Шушенской ГЭС зафиксировано усиление частоты и силы землетрясений. В случае же аварийной ситуации, возникшей на гидроэлектростанции, может произойти полное разрушение экосистем, населенных пунктов, гибель людей и животных в зоне воздействия волны прорыва и сопутствующего ему затопления. Одновременно этот процесс будет сопровождаться загрязнением реки и затапливаемой местности. Так в результате аварии на Саяно-Шушенской ГЭС 17 августа 2009 года погибло 75 человек, оборудованию и помещениям станции нанесён серьёзный ущерб. Восстановление Саяно-Шушенской ГЭС обошлось более 10 млрд. рублей. Тонны нефтепродуктов попали в реку

Енисей, что нанесло реке немалый вред. Последствия аварии устранялись не один год.

Экологическая оценка последствий антропогенного воздействия на экосистемы водохранилищ ГЭС становится все более актуальной в связи с ростом концентрации промышленного производства на их водосборных площадях. На основании всего выше сказанного, очевидно, что существует насущная необходимость комплексной оценки экологических последствий строительства и эксплуатации ГЭС и поиска их устранения, при этом необходимо учитывать и ликвидировать все ошибки прошлых лет.

## **2 Общая характеристика глубоководного Красноярского водохранилища**

### **2 Краткая история изучения водного объекта**

Красноярское водохранилище, образовано на одной из крупнейших рек земного шара – Енисее, и представляет собой уникальный искусственный водоем, ставший неотъемлемой частицей природы Приенисейской Сибири.

Наполнение Красноярского водохранилища происходило с весны 1967 года по август 1970 года, после наполнения водохранилища, возникла необходимость изучения ее влияния на окружающую среду. С первых лет создания водохранилища рядом научно-исследовательских институтов и организаций было начато изучение гидрологического и гидрохимического режимов, процессов формирования флоры и фауны водоема. В серьезных профессиональных исследованиях принимали участие Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения АН СССР, Сибирский научно-исследовательский институт энергетики (СибНИИЭ), Сибирский филиал Всесоюзного научно-исследовательского института гидрогеологии им. Б. Е. Веденеева, Красноярское отделение государственного института «Гидропроект», Енисейское бассейновое управление (лаборатории г. Красноярска и г. Абакана) и другие организации. Значительный вклад в изучение формирования экосистемы водохранилища, особенно в первые десятилетия, внесли сотрудники Красноярского отделения Сибирского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института рыбного хозяйства (СибрыбНИИпроект). Ответственной организацией, выполняющей работы по гидрометеорологии и гидрохимии с первых дней и по настоящее время, является Красноярское управление Гидрометеослужбы (КГМС). В 1971 году на его базе были созданы 17 гидрологических и 7 гидрохимических постов наблюдения на Красноярском водохранилище.

Сотрудниками СибрыбНИИпроект еще до образования водохранилища был проведен обзорный анализ состава ихтиофауны на участке затопления, рассмотрены пути формирования рыбных запасов. Результаты гидробиологических исследований первых лет были опубликованы в сборнике «Биологические исследования Красноярского водохранилища» вышедшем в 1975 году [10, 13].

В 1977 году О. Л. Ольшанская в соавторстве с рядом ученых, подводя итоги 10-летних (1967-1977 гг.) научных исследований, дали прогноз рыбохозяйственного использования Красноярского водохранилища. В статье были обобщены материалы по видовому составу рыб, их биологическим особенностям, численности и биомассе фито-, зоопланктона и бентоса, кормовым ресурсам. Фактически это была самая большая научная работа СибрыбНИИпроекта по фауне Красноярского водохранилища. В последующие годы интенсивность гидробиологических и ихтиологических исследований

института понизилась из-за прекращения государственного финансирования, а также прихода в мир науки рыночных отношений, когда тематику исследований определяет спрос [10].

В первое десятилетие существования Красноярского водохранилища при участии сотрудников Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт экологии рыбохозяйственных водоемов» ФГБНУ «НИИЭРВ» начались экспедиционные исследования по оценке состояния водных биологических ресурсов с целью освоения популяции видов рыб, ежегодного прогноза общего допустимого улова (ОДУ).

Значительно возросло число исследователей Красноярского водохранилища с открытием Красноярского государственного университета (КГУ). Сотрудники и студенты университета во главе со И. И. Смольяновым с первых дней заполнения водохранилища выполняли обширные рыбоводно-акклиматизационные разработки, изучали размножение, развитие, питание и систематику рыб. Преемником его стал Е.А. Штейнберг, который помог заложить основы ихтиологических исследований в Красноярском университете [13]. Во второй половине 1970-х годов расширился круг работ гидробиологического цикла, кафедра гидробиологии и ихтиологии КГУ начала проводить полнопрограммный экологический мониторинг Красноярского водохранилища, в основные задачи которого входили: сбор информации о биоте (бактерии-, фито-, зоопланктон, перифитон, зообентос и рыбы), определение флуоресцентным методом продукции органического вещества планктона и оценка токсичности природных вод по биотестам. В результате долгосрочных регулярных наблюдений в период 1978-2001 гг. была разработана схема универсальной гидробиологической базы «Биота», построена оптимальная информационная модель экосистемы Красноярского водохранилища с целью оценки и прогноза состояния водного объекта [10, 32].

С 1 августа 1980 г. в Красноярском УГКС приказом №212, на базе действующих сетевых наблюдательных подразделений, занимающихся работами в области мониторинга окружающей среды, был организован Центр по изучению и контролю загрязнения природной среды, в настоящее время Территориальный Центр по мониторингу загрязнения окружающей среды, который осуществляет гидрологические и гидрохимические наблюдения на Красноярском водохранилище. На сегодняшний день, ввиду недостаточного финансирования, количество постов наблюдения Центра сокращено - гидрологических до 11, гидрохимических до 2.

В 1981 году постановлением научного совета Красноярского краевого комитета КПСС совместно с президиумом Красноярского филиала Сибирского отделения АН СССР была утверждена комплексная научно-техническая программа «Чистый Енисей». Все функции главной организации по разработке и реализации программы были возложены на Институт биофизики СО АН СССР. За Красноярским государственным университетом по данной программе

были закреплены верхнеенисейские водохранилища (Красноярское и Саяно-Шушенское) [13].

В соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 31.12.2008 г. № 2054-р Красноярское водохранилище в составе с Саяно-Шушенским и Майнским водохранилищами на р. Енисей, находящиеся на территории Енисейского бассейнового округа, включены в перечень водохранилищ, осуществление мер, по охране которых относится к полномочиям органов государственной власти Российской Федерации. В соответствии с «Положением о ведении государственного мониторинга водных объектов», проведение государственного мониторинга Красноярского водохранилища координируется территориальным органом Федерального агентства водных ресурсов межрегионального уровня - Енисейским бассейновым водным управлением, одной из основных функций которого является ведение государственного мониторинга водных объектов по количественным и качественным показателям состояния водных ресурсов.

Енисейское БВУ ежегодно разрабатывает программу государственного мониторинга за счет средств федерального бюджета. В «Бассейновой программе мониторинга поверхностных водных объектов, состояния дна, берегов водных объектов...» заложена конечная задача: оперативное получение информации, оценка и прогнозирование изменений состояния водных объектов, количественных и качественных показателей состояния водных ресурсов с целью использования этих результатов планирующими, хозяйственными и контролирующими органами. Разработанная программа мониторинга представляет собой оптимальный с эколого-экономической и информационной точки зрения вариант организации наблюдений за состоянием крупнейших водохранилищ Енисейского каскада ГЭС, в том числе Красноярского водохранилища [14].

В системе Росводресурсов под руководством Енисейского БВУ мониторинг Красноярского водохранилища осуществляют Федеральное государственное учреждение «Управление эксплуатации Красноярского водохранилища» и Федеральное государственное учреждение «Енисейрегионводхоз», выполняющие большой объем организационно-контрольных работ за состоянием данного водного объекта, благоустройством его акватории и берегов.

В рамках Программы регулярных наблюдений за Красноярским водохранилищем и его водоохраной зоной ФГУ «Управление эксплуатации Красноярского водохранилища» с 2008 года осуществляет следующие наблюдения:

- за состоянием берегов и акваторией водохранилища;
- за состоянием дна и изменениями морфометрических особенностей водохранилища;
- за состоянием и режимом использования водоохраных зон и прибрежной защитной полосой водохранилища;

- за устьевыми участками притоков (заливы);
- за водохозяйственными системами.

ФГУ «Енисейрегионводхоз» с 2010 года осуществляет наблюдение за качеством вод по гидрохимическим показателям и за загрязненностью донных отложений Красноярского водохранилища, а также производит сбор, обработку, хранение, обобщение, анализ и передачу полученной информации на уровень Росводресурсов. В 2010 году на его базе осуществлялись разовые измерения качества воды водохранилища в целях отработки методик гидрохимических исследований для подготовки гидрохимической лаборатории к аккредитации. С 2011 года были начаты и ведутся по настоящее время регулярные наблюдения за состоянием поверхностных вод Красноярского водохранилища. Немного позднее Федеральной службой по аккредитации (Росаккредитация) была аккредитована Гидрохимическая лаборатория, получившая Аттестат аккредитации RA.RU.518213 от 30 октября 2015 года. В области аккредитации лаборатории – отбор проб и выполнение количественного химического анализа (КХА) различных объектов контроля: поверхностных, подземных, очищенных сточных и сточных вод, донных отложений и почв [21].

В настоящее время Енисейское бассейновое водное управление и Федеральное государственное бюджетное учреждение «Енисейрегионводхоз», отвечающие за ведение государственного мониторинга водных объектов по количественным и качественным показателям состояния водных ресурсов, осуществляют организацию комплексных наблюдений за состоянием крупнейших водохранилищ Енисейского каскада ГЭС, в том числе Красноярского водохранилища.

## **2.2 Географическое положение и основные характеристики водохранилища**

На территории Красноярского края находятся 6 водохранилищ гидроэнергетики (приложение А). Водные ресурсы р. Енисей зарегулированы Енисейским каскадом гидроузлов, включающим Саяно-Шушенскую, Майнскую и Красноярскую ГЭС. Общий объем зарегулированных ресурсов в водохранилищах каскада ГЭС составляет  $104,7 \text{ км}^3$ , полезный объем –  $38,3 \text{ км}^3$ , общая площадь водохранилищ каскада ГЭС –  $2632,5 \text{ км}^2$ . Водные объекты размещены на территории нескольких субъектов Российской Федерации в бассейне реки Енисей и имеют комплексное назначение (водные ресурсы водоемов используются для нужд энергетики, водного транспорта, коммунального хозяйства, ирригации, а также в рекреационных целях).

Красноярское водохранилище, расположенное в верхней части среднего течения реки Енисей ( $55^{\circ}06'35''$  с. ш.  $91^{\circ}34'38''$  в. д.), создано при строительстве Красноярской ГЭС, введенной в эксплуатацию в 1967 году.



Красноярское водохранилище вытянуто в меридиональном направлении с севера на юг вдоль русла Енисея почти на 396 километров от места впадения в Енисей реки Абакан в районе г. Абакан до плотины Красноярской ГЭС вблизи г. Дивногорска (табл. 2, рис. 1). Начиная от плотины, участок водохранилища на протяжении 68 км, расположен в узком каньоне - месте, где Енисей пересекает Красноярский кряж Восточного Саяна, по левобережью которого расположено Курбатово-Сырское белогорье, а по правобережью - Манское белогорье.

Таблица 2 - Основные характеристики Красноярского водохранилища [20]

| Наименование                  | Река   | Местонахождение<br>(км от устья,<br>населенный пункт) | Наименование<br>субъектов<br>Российской<br>Федерации | Год<br>заполнения | Назначение                      |
|-------------------------------|--------|---|--|-------------------|---------------------------------|
| Красноярское<br>водохранилище | Енисей | 2502,<br>г. Дивногорск                                | Красноярский край,<br>Республика Хакасия             | 1970              | Гидроэнергетика,<br>судоходство |

Заполнение водохранилища осуществлялось в течение четырех лет до 1970 года (уровень воды достиг НПУ=243 м). Анализ всех характеристик экосистемы, отсчет времени функционирования водохранилища осуществлен с 1970 года (1970 г. - первый год, 2018 г. – сорок девятый год функционирования). Оно является одним из крупнейших по объему искусственных водоемов в мире, полный и полезный объем водных масс составляет 73,3 и 30,4 км<sup>3</sup> соответственно, площадь водного зеркала при НПУ около 2000 км<sup>2</sup> (табл. 3). Средняя ширина водоема – 5,3 км, наибольшая в районе Краснотуранского плеса – 15 км, минимальная – 2,5 км в предплотинном районе. Максимальная глубина на Приплотинном плесе - 110 м, средняя глубина по водохранилищу - 36 м. Средняя высота уреза воды 243 м над уровнем моря, уровень воды при УМО (уровень мертвого объема) составляет 225 м, сработка уровня составляет 6-20 м. Коэффициент водообмена 1,4 (каждые 10 месяцев). На глубины до 10 м приходится 16% от всей площади, 10-30 м - 28%, 30-40 м -12%, более 40 м - 44%. Протяженность береговой линии при НПУ составляет 2560 м. Наибольшая изрезанность берегов характерна для правобережья [8, 9].

Водоохранилище относится к категории предгорных водоемов долинного типа, расположено в двух ландшафтных зонах: южной - лесостепной и северной - горно-таежной. Его форма определяется сложностью рельефа затопленной суши.

При создании Красноярского водохранилища были затоплены земли Емельяновского, Балахтинского, Даурского, Новосёловского, Краснотуранского и Минусинского районов Красноярского края, Богградского и







Усть Абаканского районов Республики Хакасия. В зону затопления попало 132 населенных пункта. Всего было переселено 60 тыс. человек, перебазировано несколько десятков предприятий, перенесено почти 14 тыс. строений.

Таблица 3 - Основные параметры Красноярского водохранилища [20]

| Наименование параметров  | Единицы измерения | Значение |
|--|-------------------|----------|
| Нормальный подпорный уровень, НПУ  | м                 | 243,0    |
| Максимальный допустимый уровень (форсированный подпорный), ФПУ                               | м                 | 243,5    |
| Уровень принудительной предполоводной сработки по состоянию на 1 мая, УПС                    | м                 | 233,0    |
| Минимальный навигационный уровень (по условию подхода к судоподъемнику), УМО рекомендованный | м                 | 230,0    |
| Минимальный допустимый уровень (мертвого объема), УМО проектный                              | м                 | 225,0    |
| Объем при НПУ  | км <sup>3</sup>   | 73,3     |
| Объем при УМО 225 м  | км <sup>3</sup>   | 42,9     |
| Объем при УМО 230 м  | км <sup>3</sup>   | 50,4     |
| Полезный объем при УМО 225 м   | км <sup>3</sup>   | 30,4     |
| Полезный объем при УМО 230 м   | км <sup>3</sup>   | 22,9     |
| Площадь зеркала при НПУ  | км <sup>2</sup>   | 2000,0   |
| Площадь зеркала при УМО 225 м  | км <sup>2</sup>   | 1382,0   |
| Площадь зеркала при УМО 230 м  | км <sup>2</sup>   | 1555,0   |
| Длина водохранилища при НПУ  | км                | 396,0    |
| Длина водохранилища при УМО 230 м  | км                | 302,0    |
| Ширина средняя при НПУ   | км                | 5,3      |
| Ширина максимальная при НПУ  | км                | 15,0     |
| Глубина средняя при НПУ  | м                 | 36,0     |
| Глубина максимальная при НПУ   | м                 | 110,0    |
| Протяженность береговой линии при НПУ  | км                | 2560,0   |

Работы по подготовке ложа водохранилища начались еще в 1957 году. Главной проблемой создания водохранилища на р. Енисей являлась недостаточная подготовка ложа водного объекта к затоплению, отсутствие лесосводки, лесоочистки. Около 80% всей площади водохранилища пришлось на затопленную сушу, из которой 21% был занят лесами.

В процессе наполнения водохранилища было затоплено 38 тыс. га леса и кустарников, 120 тыс. га сельскохозяйственных земель (табл. 4). Под воду ушли различные типы почв, особенно широко на затопленном ложе были представлены дерново-подзолистые, луговые, серые лесные почвы и черноземы. Процесс заиливания водохранилища происходит очень медленно и продолжается по настоящее время.

Таблица 4 - Результаты затопления земель Красноярским водохранилищем [27]

| Показатель                                      | Красноярское водохранилище |
|---|----------------------------|
| Площадь затопления, тыс. га                     | 175                        |
| В том числе:                                    |                            |
| - сельскохозяйственные угодья                   | 120                        |
| - лес и кустарники                              | 38                         |
| Запас, тыс. м <sup>3</sup>                      |                            |
| - товарных насаждений                           | 470                        |
| - ликвидный                                     | 440                        |
| Площадь лесосводки и лесоочистки, тыс. га       | 13                         |
| Объем лесосводки, тыс. м <sup>3</sup>           | 440                        |
| Проектный объем затопления, тыс. м <sup>3</sup> | 300                        |
| Реальный объем затопления, тыс. м <sup>3</sup>  | 470                        |
| Объем плавающей древесины, тыс. м <sup>3</sup>  | 100                        |

Лесоочистные работы были выполнены на площади около 13 тыс. га. Фактически вырублено 470 тыс. м<sup>3</sup> товарного леса. Объем плавающей древесины на 1984 год, по данным Гидролестранса, составлял 300 тыс. м<sup>3</sup>, ежегодно в водохранилище вследствие переработки берегов дополнительно поступает около 6 тыс. м<sup>3</sup> древесины. Переработка берегов носит нарастающий характер [2, 10].

В водохранилище впадают несколько достаточно крупных рек, наиболее известные из которых: по правому берегу - Туба, Сисим, Сыда, по левому – Бирюса. В результате создания этого искусственного водоема география района очень сильно изменилась: многие реки, впадающие в Енисей, оказались подтопленными, и их устья создали множественные заливы.

С учетом сложности рельефа ложа, наличия стоковых течений и других гидрологических характеристик на Красноярском водохранилище условно выделены верхняя, средняя и нижняя его части. Верхняя часть водохранилища простирается от г. Абакана до п. Батени. Левый берег в этой части преимущественно пологий, для правого характерны выходы коренных пород. Крупные заливы этой части - заливы рек Туба и Сыда. При анализе экосистемы в рамках верховья выделяются плесовые расширения – Усть-Абаканский, Моховский, Краснотуранский плесы. Наибольшая ширина открытых плесов достигает 15 км, глубины составляют 6-36 м [11, 19].

Средняя часть (от пос. Батени до залива Огур) располагается в пределах Енисейско-Чулымской котловины, отрогов Минусинской впадины и Восточных Саян. В этой части наблюдается наибольшее разрушение берегов, сложенных легко разрушаемыми породами. Выделяются Новоселовский и Приморский плесы (максимальная ширина до 14 км). Глубины достигают 34-70 м. В месте впадения рек расположены заливы Сисим, Кокса, Черный, Кома. Нижняя часть водохранилища находится в

пределах Восточных Саян и имеет фьордообразные заливы (Огур, Дербинский, Бирюсинский.). Она включает в себя плесы Щетинкинский и Приплотинный. Участок в 60 км перед плотиной ГЭС имеет ширину не более 2,5 км, глубины варьируют от 85 до 110 м.

### 2.3 Гидрологический режим

Движение водных масс водохранилища обусловлено преимущественно стоком через ГЭС, ветровым режимом, сезонными циркуляциями вод. По сравнению с речными условиями до момента формирования водохранилища скорость стокового течения уменьшилась в 10 раз. Отмечена характерная закономерность: вдоль оси водоема показатели скорости течения воды постепенно снижаются от зоны подпора (0,14 м/с) до плотины (0,02-0,05 м/с).

Характер поведения уровня воды Красноярского водохранилища обусловлен, главным образом, режимом работы Красноярской ГЭС и величиной притока воды в водохранилище. Осуществляя сезонное регулирование стока, Красноярская ГЭС ежегодно заполняет водохранилище до определенной отметки и затем в течение нескольких месяцев опорожняет его [1, 20].

В годовой динамике уровневого режима выделяются три фазы: 1) весеннего наполнения; 2) летне-осеннего; 3) осенне-зимней сработки.

Начало весеннего наполнения связано с началом половодья на Енисее и его основных притоках. Подъем уровня воды начинается как только величина притока становится больше величины отдачи ГЭС в нижней бьеф. Продолжительность фазы весеннего наполнения зависит не столько от величины объема суммарного притока воды в водохранилище, сколько от интенсивности этого притока, колеблется эта фаза в пределах 74-140 дней, интенсивность наполнения до 90 см/сут., средняя - 17 см/сут.

Фаза летне-осеннего стояния характеризуется равенством величины притока в верхний бьеф и отдачей ГЭС, либо их весьма близкими значениями. На этой фазе наблюдаются максимальные значения уровней. Продолжительность этой фазы 80-90 дней, средняя величина изменения уровня 2 см/сут.

Фаза осенне-зимней сработки характеризуется большой величиной отдачи воды ГЭС через плотину по сравнению с притоком. По времени эта фаза примерно совпадает с периодом межени на Енисее и притоках. За начало принимается окончание хаотических колебаний уровня и начинается его непрерывный спад. Максимальные и средние суточные изменения уровня на фазе сработки составляют 21 (что на 3 метра превышает проектную) и 8 см соответственно [11, 20].

Основной вклад в долю приходной составляющей водного баланса несут реки Енисей, Абакан, Туба (90-95%). Менее 6% приходится на боковую приточность в водохранилище, 2-4% составляют осадки, стаявший

лед и фильтрация. В расходной части 95-97 % приходится на сброс через гидроузел и 3-5% на испарение и фильтрацию. Характер регулирования, водность рек, впадающих в водохранилище, влияют на соотношение элементов водного баланса в различные годы.

## 2.4 Гидротермический режим

В целом годовой термический цикл воды Красноярского водохранилища соответствует циклу глубоководных водоемов и подразделяется по классификации А. И. Пеховича на 5 периодов: весеннее нагревание, летнее прогревание, летне-осеннее охлаждение, осенне-зимнее охлаждение и период низких температур под ледяным покровом [48].

Для развития биотической составляющей экосистемы водоема наиболее значимые - периоды летнего прогревания и летне-осеннего охлаждения, т. е. это вегетационный период, охватывающий в Красноярском водохранилище июнь-август. Пространственно-временная амплитуда колебаний средней температуры воды у поверхности в июне-августе в целом невелика и находилась в диапазоне от 14 до 20°C. В распределении температуры по длине (верхняя, средняя, нижняя части) водохранилища за весь период исследований четкой закономерности не отмечено [10, 11, 48]. Максимальная температура в верховье изменялась в пределах 16,35-17,46°C, по оси водохранилища температурные показатели варьировали в верховье в пределах 16,22-21,7°C и нижней части водоема – 14,32-18,7°C.

Гидротермический режим нижнего бьефа Красноярской ГЭС полностью определяется ходом термических процессов, происходящих в водохранилище. Годовой термический цикл реки ниже плотины можно разделить на два периода: нагревания и охлаждения. Процесс нагревания наступает с момента установления весенней гомотермии в водохранилище у плотины (середина мая), переход температуры воды через 4°C весной происходит, в основном, во второй декаде июня, наибольшие показатели температуры воды, поступающей из водохранилища, наблюдаются в августе и достигают 12-14°C. С этого момента начинается постепенное понижение температуры воды и через 4°C температура воды переходит в первой половине декабря. Наименьшая температура воды наблюдается в конце марта и составляет 1,6-3°C.

Температура воды в нижнем бьефе у плотины характеризуется как внутри суточными изменениями, амплитуда которых может превышать 1°C, так и более длительными, продолжительностью до 10-13 суток, понижение значений которых достигает 4°C. Очевидно, эти колебания определяются динамическими процессами происходящими в Красноярском водохранилище (сгонно-нагонные явления, внутренние волны, макротурбулентность и др.). Период этих колебаний можно приблизительно оценить в 20-25 суток. Характерно, что изменения температуры воды в нижнем бьефе у плотины

ГЭС внутри суток не зависят от температуры воздуха и определяются только процессами, происходящими в толще водной массы водохранилища [6, 48].

В результате сопоставления температуры воды в приплотинной части Красноярского водохранилища и в нижнем бьефе ГЭС видно, что в условиях эксплуатации ГЭС в водозаборные отверстия вовлекается вода практически из всей водной толщи водоема, и даже при работе водослива эта закономерность не нарушается. Также существует зависимость между температурой воды в нижнем бьефе у плотины Красноярской ГЭС и средней температурой воды по глубине на приплотинном участке водохранилища. Зависимость определяется тремя периодами: нагревания (июнь-август), охлаждения (август-декабрь) и ледостава на Красноярском водохранилище.

Многочисленные измерения, проведенные в нижнем бьефе показали, что распределение температуры воды по глубине в условиях интенсивного турбулентного перемешивания близко к изотермическому, разность температуры воды по глубинам редко достигает  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Установлена также зависимость между температурой воды, поступающей из водохранилища в нижний бьеф, и температурой воды, измеряемой на посту у Дивногорска. Из-за особенностей термического режима глубоководной части Красноярского водохранилища переход температуры воды в Енисее у плотины ГЭС через  $4^{\circ}\text{C}$  по сравнению с естественным режимом задерживается на 1-1,5 месяца весной (первая-вторая декада июня) и осенью (начало декабря) [48].

В результате зарегулирования реки в ноябре в нижний бьеф поступает вода из водохранилища с температурой  $10-6^{\circ}\text{C}$ , а в середине декабря -  $4^{\circ}\text{C}$ , в январе -  $3,8-3,2^{\circ}\text{C}$ , в феврале -  $0,4-3^{\circ}\text{C}$ . Замерзание Енисея происходит посредством образования ледяных перемычек, повышения уровня воды, уменьшения уклонов на кромке льда и как следствие смерзания поступающего с верхних участков реки ледяного материала (шуги). При этом процесс замерзания Красноярского водохранилища на р. Енисей происходит сверху вниз. Но при продолжительных ветрах на водохранилище последним замерзает участок длиной 40 км от Приморска (115 км от плотины ГЭС) до Вознесенки (65 км от плотины ГЭС). Начало ледостава в верхнем районе водохранилища приходится на первую декаду ноября, в нижнем - первую декаду декабря. Продолжительность периода замерзания Красноярского водохранилища, в среднем, составляет 35 суток. Толщина ледяного покрова уменьшается от зоны выклинивания подпора к плотине.

Вскрытие и освобождение ото льда происходит в третьей декаде апреля и первой половине мая соответственно. Очищение водохранилища начинается в верховье, затем на приплотинном участке и заканчивается в средней части, где зимой происходит повсеместное образование снежного льда. При зимних сработках уровня воды ледяной покров оседает на берега. На Красноярском водохранилище площадь осевшего льда достигает  $542 \text{ км}^2$ , а максимальный объем воды, заключенный во льду на берегах, равен  $0,37 \text{ км}^3$  [10, 48]. Основное поступление воды ото льда, осевшего на берегах



Красноярского водохранилища, происходит за счет его таяния. В отдельные годы только средний за декаду апреля приток воды за счет таяния льда на берегах составляет 150 м/с (в отдельные дни может превышать 400 м/с), или 8% общего притока воды в водохранилище.

## 2.5 Гидрохимический режим

Анализ гидрохимического режима Красноярского водохранилища, проводится по материалам Красноярского управления Гидрометслужбы (совместные работы, гидрохимический бюллетень, Енисейского бассейнового управления (лаборатории г. Красноярска и г. Абакана), Красноярского государственного университета (в настоящее время Сибирского федерального университета).

Для водохранилища отмечен сезонный характер солевого состава вод Красноярского водохранилища. Максимальной величины минерализация воды в водохранилище достигает в начале весны и в зимний период (до 140-160 мг/л), когда вода сбрасывается до наименьших отметок. В весенне-летний период уровень минерализации снижается до 50-85 мг/л в поверхностном слое, в придонном горизонте выше до 10-20 мг/л. В конце лета - осенью минерализация возрастает до 73-105 мг/л, при этом величина ее по глубинам водохранилища не меняется. Вода характеризуется как слабоминерализованная, мягкая, относится к гидрокарбонатному классу кальциевой группы. Жесткость воды водоема подвержена сезонным колебаниям (от 5,5°Ж зимой до 1,1°Ж летом) [8, 20].

Газовый режим в Красноярском водохранилище имеет сезонный характер и определяется в течение года температурным режимом, водообменом и концентрацией органических веществ. Средневегетационные показатели содержания кислорода в воде за период исследований варьировали от 7,2 до 14 мг/л. В верхнем районе водохранилища среднее содержание кислорода составляет 8,7 мг/л, в среднем районе - 9,4 мг/л, в нижнем участке - 9,3 мг/л. В поверхностных горизонтах концентрация кислорода не снижается ниже 7 мг/л, у дна - 4 мг/л. В течение года наименьшие значения концентрации кислорода отмечены в середине - конце вегетационного периода, что связано с прогревом вод и развитием водорослей; максимальные - зимой. Содержание свободной углекислоты неоднозначно как по акватории водохранилища, так и по глубинам. Максимальные величины (10-11 мг/л) зарегистрированы у дна в летний период в районе Усть-Абакана. В поверхностных слоях за счет фотосинтеза содержание углекислоты уменьшается, это явление хорошо просматривается на эвтрофированном Краснотуранском плесе, где в августе концентрация углекислоты может составлять 0,5 мг/л.

В распределении средневегетационных величин прозрачности по длине Красноярского водохранилища отмечено закономерное возрастание от верховья к плотине: минимум 1,47 м - в верховье, максимум 6,6 м - в низовье

Активная реакция воды водохранилища в среднем слабощелочная, варьирует в диапазоне от 7,25 до 7,85. Максимальная величина – 8,2 зарегистрирована у с. Абакано-Перевоз.

Содержание биогенных элементов в Красноярском водохранилище незначительно. Среди них наиболее высокое содержание имеет кремний 1,2-8,3 мг/л. За период становления водохранилища по абсолютному значению уменьшается содержание катионов (что может быть следствием затухания процессов выщелачивания солей из грунтов) [8, 19].

Бихроматная окисляемость в наибольших концентрациях (17,8-21,8 мг/л) отмечена в районе ниже очистных сооружений ПКСО. В поверхностных горизонтах варьирует в пределах 2,0-17,8 мг/л. Наибольшие колебания регистрируются в верховье и в среднем районе - в августе, в приплотинном - осенью.

Биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>) максимально в районе ниже очистных сооружений ПКСО (8,7-11,3 мг О<sub>2</sub>/л).

Взвешенное органическое вещество (ВОВ) определяет многие биологические, физико-химические и гидробиологические природные процессы. Общее количество ВОВ и соотношение его компонентов - важные показатели трофности, продуктивности водоемов, их рыбохозяйственной ценности и качества вод. В целом по водохранилищу содержание ВОВ варьирует в пределах 3,4-18,6 мг О<sub>2</sub>/л. Максимальное его содержание отмечается в заливе Сыда -17,5 мг О<sub>2</sub>/л [8, 19]. Значительные концентрации могли быть вызваны загрязнением хозяйственно-бытовыми и промышленными стоками, поступлением органического вещества с водосборной площади.

## 2.6 Гидробиологический режим

Фитопланктон. В составе водорослей Красноярского водохранилища зарегистрировано 239 таксонов, включая бентосные формы. Отделы диатомовых представлены: таксонами - 116, зелеными - 80, синезелеными - 29, золотистыми и пиррофитовыми - 5, эвгленовыми - 4. С 10-12 гг. функционирования водохранилища появилась тенденция к обеднению видового состава фитопланктона.

Наибольшее видовое разнообразие характерно для верховья водохранилища (H=0,1-3.2 бит), где развиты реофильный и лимнофильный комплексы водорослей, в основном представители pp. *Cyclotella*, *Diatoma*, *Nitzschia*. В средней части водохранилища преобладают диатомовые: *Ankistrodesmus pseudomirabilis* Korschik, *Asterionella formosa* Hass. К низовью индекс видового разнообразия снижается (H=0.25-2.06 бит). Основу

составляют лимнофильные виды. На долю диатомовых приходится 95% от общей численности. В сезонной динамике видового состава зарегистрировано снижение биоразнообразия от июня к августу. Максимальные значения плотности фитоценозов обусловлены развитием синезеленых и диатомовых водорослей. В августе большинства лет зарегистрировано «цветение» вод практически по всей акватории водоема за счет синезеленых водорослей. Основным агент «цветения» - *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs [10, 64].

В сезонной динамике структурных характеристик фитопланктона стабилизировался общебиологический цикл: численность диатомовых от июня к августу снижается (в 4-5 раз); синезелёных возрастает (в 15-1000 раз). Пик развития фитопланктона совпадает с максимальным уровнем наполнения водохранилища и наибольшим прогревом воды. Глубоководность водоема определяет специфику вертикального распределения водорослей: по всем районам плотность фитоценоза в кубометре нетрофогенного столба воды существенно выше, чем в трофогенном. В межгодовой динамике за период исследований варьирование численности фитопланктона составляет 519-57261 млн.кл/м<sup>3</sup> и биомассы 444-5990 мг/м<sup>3</sup>. Трофический статус водохранилища, установленный по величинам биомассы фитопланктона, колеблется от олиготрофного уровня до гиперэвтрофного. Первичная продукция планктона в Красноярском водохранилище в среднем за вегетационный сезон составляет 14,6-16,9 ккал/м<sup>3</sup>сут. Интенсивнее органическое вещество продуцируется в эпилимнионе средней части водохранилища. Большую роль в формировании первичной продукции планктона водохранилища играют заливы, где в отдельные годы продуцируется до 74% органического вещества водоема. Деструкция органического вещества планктоном в среднем составляет 25,9 ккал/м<sup>3</sup>сут, в 1,7 раза превышая значения первичной продукции [32].

Качество воды Красноярского водохранилища по индексу сапробности и комплексу структурно-функциональных показателей фитопланктона оценивалось в среднем II-III классами (вода «чистая» – «умеренно загрязненная»). В течение 25-го периода функционирования водохранилища оно неизменно соответствовало III классу β-мезосапробной зоны по всем плесовым районам, в последующие годы оно улучшилось до II класса α-олигосапробной зоны. Наиболее неблагоприятная обстановка зарегистрирована в верхней (Краснотуранский плес), где в годы максимального развития синезеленых водорослей качество воды оценивалось IV классом (вода «загрязненная»). По комплексу массовых видов фитопланктон Красноярского водохранилища прошел все сукцессионные стадии: от олиготрофии в начале функционирования до эвтрофной стадии в 1991-1993 гг., затем вновь перешел в стадию мезотрофии. В настоящее время трофический статус водохранилища соответствует мезотрофному типу с чертами эвтрофии [10, 54].

Бактериопланктон. Преобладающей формой микроорганизмов водохранилища являются кокки (94%). При увеличении содержания органического вещества антропогенного характера возрастает число палочек. Соотношение морфологических форм кокковидных и палочковидных составляет в разные годы от 5:5 до 9:1. Средневегетационная численность бактериального населения варьирует от 1,5 до 4,5 млн.кл/мл, биомасса от 0,6 до 3,5 г/м<sup>3</sup>. Максимальные значения плотности бактериопланктона в большинстве лет отмечены в верхнем районе (5,4 млн.кл/мл), минимальные - в нижнем (1,0 млн.кл/мл). Вертикальное распределение бактериального населения варьирует по сезонам: в июне бактерии распределяются равномерно, либо с максимумом у поверхности; в июле - с максимумом у поверхности или гипolimнии; в августе наибольшая численность бактериопланктона зарегистрирована в мета- и гипolimнии. Численность гетеротрофных бактерий в среднем за вегетационный период изменяется от 0,7 до 19,6 тыс.кл/мл. Максимум численности гетеротрофов наблюдается в августе. Скорость потребления кислорода одной бактериальной клеткой за час высока по всей акватории водохранилища ( $6,4 \cdot 10^{-12}$  мгО<sub>2</sub>/кл·ч). Средневегетационные значения продукции бактериопланктона изменяются от 0,3 до 1,9 кал/м<sup>3</sup>сут. Меньшие значения продукции совпадают с высоким временем удвоения (85 часов), а большие - с низким (28 часов) при равной общей численности бактериопланктона 2,2 млн.кл/мл. Средний показатель микробиологической деструкции органического вещества варьирует от 1,7 до 14,4 кал/м<sup>3</sup>сут. Красноярское водохранилище по общей численности бактериопланктона оценивается как эвтрофный водоем с мезотрофными участками. По средним показателям численности бактериопланктона водоем в целом оценивается III классом качества (вода «умеренно загрязненная», «малотоксичная») [10, 13, 32].

Зоопланктон. В видовой структуре зоопланктона Красноярского водохранилища отмечен процесс упрощения: в первые годы существования водохранилища зарегистрировано 109 видов, в конце второго десятилетия - 67 видов и форм. Для верховья водохранилища в июне в течение всех изученных лет характерен каловратно-клагоцерный комплекс. Преобладают *Synchaeta* sp., *Conochilus unicornis* Rousselet. Индекс видового разнообразия имеет максимальное значение -  $H=1,5$  бит. На среднем и нижнем участках водохранилища развивается коловратно-копеподный комплекс, с доминантами *Kellikottia longispina* Kellicott, *Keratella quadrata* (O.F.Muller), *Bosmina longirostris* (O.F.Muller), р. Cyclops. К июлю, в период прогрева воды, во всех частях водоема увеличивается численность крупных видов клadoцер *Diaphanosoma brachium* (Liev), *Daphnia longispina* (O.F.Muller), особенно на участках «цветения» воды синезелеными водорослями. В августе клadoцеры исчезают или их численность минимальна. Средневегетационная численность зоопланктона изменяется от 12 до 28 тыс.экз/м<sup>3</sup> и варьирует по акватории с максимумом в средней части.

Наименьшее количество зоопланктона (56 тыс.экз/м<sup>3</sup>) отмечено в средней части водохранилища, наибольшее (153 тыс.экз/м<sup>3</sup>) - в верховье. Распределение зоопланктона по вертикали в столбе воды однотипно по всему водоему. В кубометре трофогенного слоя сосредоточено от 60% до 83% общей численности зоопланктона.

Зоопланктон играет важную индикаторную роль в диагностике состояния водных экосистем. Данные биологического анализа качества вод по показателям зоопланктонных сообществ характеризуют Красноярское водохранилище как о-β-мезосапробное. Качество воды по индексу сапробности оценивалось II-III классами (вода «чистая» – «умеренно загрязненная»). По величине биомассы зоопланктона Красноярское водохранилище за период исследования оценивается как олиготрофное с мезотрофными участками [10, 54].

Зообентос. В составе бентофауны Красноярского водохранилища выявлено 326 видов и форм донных беспозвоночных, в том числе хирономид - 177 видов, олигохет - 48, моллюсков - 21. Комплекс видов-доминантов, повсеместно распространенных по водохранилищу, составляют пять видов: *Tubifex tubifex*, *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Chironomus plumosus*, *Procladius* gr. *ferrugineus*, *Polypedilum* gr. *Convictum*. В формировании донных биоценозов водохранилища выделено два этапа: первый этап, продолжающийся до 10-11 годов функционирования, характеризуется доминированием реофильных и временных комплексов с максимальным видовым разнообразием (H до 4,9 бит), второй - упрощением видовой структуры (H до 3,1 бит), однообразным распределением по бентали, завершением сукцессионных стадий развития [33, 36, 51]. Наиболее сформированными в настоящее время являются биоценозы серых илов и илистых песков, составляющих по обилию более 60% от всей бентофауны. Стадии «мотыля» в Красноярском водохранилище не отмечено. Природные циклы в динамике донных сообществ связаны с характером поступления автохтонного и аллохтонного вещества в водоем. Структура зообентоса существенно варьирует в пространственно-временном аспекте: по оси водохранилища от верховья к плотине упрощается видовая структура (H<sub>верх</sub>=0,7-4,9, H<sub>низ</sub>=0,2-1,4 бит), снижается численность (N<sub>верх</sub>=4,89 тыс.экз/м<sup>2</sup>, N<sub>низ</sub>=2,23 тыс.экз/м<sup>2</sup>); от литорали к профундальной зоне упрощается видовая структура, снижается плотность, зона максимального развития бентофауны соответствует глубинам 10-30 м, от изобат более 40 м повсеместно доминируют *Tubifex tubifex*, *Limnodrilus hoffmeisteri* (N<sub>max</sub>=18,40 и 11,04 тыс.экз/м<sup>2</sup> соответственно) [31, 34, 35].

Донные сообщества, благодаря приуроченности к определенному биотопу, незначительным перемещениям в лимнических, особенно глубоководных экосистемах, и достаточно продолжительному циклу развития, наиболее полно аккумулируют всю поступающую в водоем информацию по загрязнению, являясь одним из существенных компонентов мониторинга Красноярского водохранилища.

Качество воды водоема по индексу сапробности и комплексу структурно-функциональных показателей бентофауны практически на всех участках водохранилища характеризуются как  $\beta$ -мезосапробное (III класс качества вод, вода «умеренно загрязненная»). Исключение составляет Краснотуранском плес (район сброса сточных вод), где значение индекса сапробности соответствует уровню  $\alpha$ -мезосапробной зоны (IV класс качества вод, вода «грязная»). Трофический статус водохранилища по величинам биомассы зообентоса соответствует мезотрофному типу [32, 37].

Ихтиофауна Красноярского водохранилища представлена 23 видами рыб, из которых 18 жилых форм и 5 акклиматизированных. Лещ - *Abramis brama* (Linne), пелядь - *Coregonus peled* (Gmelin), омуль байкальский - *Coregonus migratorius* Georgi и ряпушка озерная - *Coregonus sardinella* Var. внесены после создания водохранилища, карп - *Cyprinus carpio* (Linne) проник в него из озер юга Красноярского края по системе малых рек и ручьев. Видовая структура фауны рыб на 95.5% состоит из представителей лимнофильного комплекса. Реофилы не нашли необходимых условий для размножения и встречаются только в притоках водохранилища, зоне подпора, затопленных руслах реки Енисей выше подпора. Доминирующие виды: окунь - *Perca fluviatilis* (Linne), плотва сибирская - *Rutilus rutilus lacustris* Pallas, лещ - *Abramis brama*, распространенные по всей акватории водохранилища. Плотва сибирская является основой промысла и составляет 63-96% от общего вылова. Основные места обитания перечисленных видов - заливы, прибрежные участки плесов. Нерестятся в верховье водохранилища в конце мая - начале июня, в средней и нижней частях водоема с опозданием на 8-10, реже 20 дней (на глубине 2-4 м у берега). Начало нереста определяется в первую очередь уровнем режимом и температурой воды. Особи младших возрастных групп обитают в июле - августе преимущественно в прибрежной зоне на глубине 10 м.

Наибольшие показатели индивидуальной и относительной плодовитости характерны для леща и варьируют от 36 до 265 и от 57 до 126 икринок на грамм массы тела соответственно. Большое влияние на репродукцию рыб оказывает уровень воды в водохранилище. При его сработке осушаются мелководья и фитофильные виды (плотва, лещ) лишаются нерестового субстрата. В питании молоди плотвы и леща преобладают веслоногие и ветвистоусые рачки (до 64% по массе). Молодь окуня потребляет как планктонных рачков (64%), так и личинок хирономид (до 53% в заливе Сыда) [10].

В последние годы увеличилась инвазия леща и плотвы ремнецом *Ligula intestinalis* Linnaeus, окуня и других хищных рыб - лентецом широким *Diphyllbothrium latum* Linnaeus (49% зараженных) и нематодой *Cammallanus lacustris* Zoega (63%). У рыб отмечены патологические изменения в крови - выход ядер и гемоглобина из клеток, amitotическое деление эритроцитов. Подобные изменения встречаются в основном у видов,

обитающих в загрязненных районах [30, 62]. Содержание хлорорганических пестицидов в тканях тела рыб не превышает допустимую остаточную концентрацию. В тканях рыб регистрируются продукты распада гербицидов.



### **3 Основные источники загрязнения Красноярского водохранилища**

Характер антропогенных воздействий на водохранилищах Енисейского каскада неоднозначен. На Красноярском водохранилище преобладают загрязнения от хозяйственно-бытовых, промышленных, сельскохозяйственных стоков, водного транспорта.

Крупнейшими населенными пунктами, расположенными на берегу Красноярского водохранилища, являются районные центры: Краснотуранск (Красноярский край), расположенный на берегу Сыдинского залива, Новоселово (Красноярский край), Усть-Абакан (Хакасия).

Краснотуранский район расположен на юге Красноярского края в центре Минусинской котловины, на правом берегу Красноярского водохранилища. На севере район граничит с Новоселовским районом, на востоке - с Идринским и Курагинским районами и на юге - с Минусинским районом. Регион имеет благоприятные условия для земледелия, поэтому основу экономики района составляет сельское хозяйство. В целом экономика района представлена предприятиями сельскохозяйственной отрасли, перерабатывающей промышленности, транспорта, жилищно-коммунального хозяйства. Полезные ископаемые на территории района представлены месторождениями и проявлениями угля, железа, марганца, свинца, цинка, меди, алюминия, молибдена, золота, урана, флюорита, исландского шпата, фосфоритов, каолина, строительных материалов. Однако район не располагает разведанными сырьевыми ресурсами для развития горнодобывающей промышленности [14].

На территории района расположены 25 населенных пунктов, которые образуют девять сельских поселений. Численность населения - более 17 тыс. чел. Поселок Краснотуранск - административный центр Краснотуранского района, расположенный на юге Красноярского края, на левом берегу Сыдинского залива Красноярского водохранилища. Численность населения составляет 15 тыс. чел. В поселке есть обустроенное жилье и промышленное производство. Вместе с тем существует проблема обеспечения населения питьевой водой, а также проблема очистки стоков. В Краснотуранске очистные сооружения, расположенные на северном склоне левого берега Сыдинского залива Красноярского водохранилища, обслуживают систему канализации Краснотуранского, Лебяжьего, Кортузского, Н-Сыдинского производственных участков и очистные сооружения села Краснотуранск. Общая протяженность канализационных сетей 29 км. Очистные сооружения Краснотуранска построены с отклонениями от проекта и введены в эксплуатацию с недоделками: с момента пуска сооружений не работает биофильтр и, практически, сточные воды только осветляются. Недостаточно очищенные сточные воды отводятся непосредственно в Красноярское водохранилище.

Новоселовский район расположен на юго-западе Красноярского края на границе с республикой Хакасия. Территория, занимаемая районом составляет 3880 км<sup>2</sup>, с юга на северо-восток ее пересекает Красноярское водохранилище и делит на правобережную и левобережную части. Площадь водохранилища в пределах района около 430 км<sup>2</sup>. Длина береговой линии Новоселовского участка Красноярского водохранилища составляет около 260 км. По водохранилищу проходят транспортные сообщения. В теплое время года налажена паромная переправа между левобережной паромной пристанью «Новоселово» и правобережной - «Улазы», действует мощный большой паром морского типа. В зимнее время по льду водохранилища организуется движение транспорта.

Важной особенностью географического положения Новоселовского района является его местонахождение в центре земледельческой части края с благоприятными агроклиматическими ресурсами и плодородными почвами. Наличие благоприятных агроклиматических и земельных ресурсов, обширных пастбищ определило специализацию экономики района - земледелие и животноводство. Кроме того, лесные богатства правобережной части дают возможность для развития лесной отрасли. Крупные месторождения полезных ископаемых в Новоселовском районе отсутствуют. Добываются лишь строительные полезные ископаемые, главным образом, песчаники, граниты, сиениты, применяемые для строительства зданий с бетонными стенами, ремонта и строительства дорог. У юго-восточной границы района на правобережье встречаются месторождения низкокачественного мрамора, разрабатываемые для строительства дорог.

В настоящее время в районе находится 30 населенных пунктов. Население района составляет 15,5 тыс. человек. Село Новоселово является административным центром Новоселовского района и расположено на левом берегу Красноярского водохранилища. Население его составляет 6490 человек. Канализационные очистные сооружения в селе Новоселово были построены в 1985 г. с грубыми отклонениями от проекта и строительным браком, в результате чего с момента запуска их в работу происходит только механическая очистка сточных вод, биологическая не осуществляется, биофильтры не работают. Схема обеззараживания не соответствует проекту. Сточные воды с очистных сооружений отводятся тоже непосредственно в Красноярское водохранилище.

Усть-Абаканский район находится в степи Минусинской котловины в центральной части республики Хакасия на левом берегу Красноярского моря. Площадь района составляет 8880 км<sup>2</sup>. Население района 43,3 тыс. чел. В экономике района основное место занимает сельскохозяйственное производство (животноводство, растениеводство и рыбоводство). Основой промышленности района является добыча полезных ископаемых (золотодобыча) и переработка древесины.

Поселок городского типа Усть-Абакан – является административным центром Усть-Абаканского района. Площадь поселка составляет 4030 га. Численность населения составляет 15,6 тыс. чел. Очистные сооружения Усть-Абакана являются крупнейшими в республике Хакасия. Они производят очистку сточных вод городов Абакан, Черногорск, самого поселка Усть-Абакан, а также расположенных неподалеку небольших населенных пунктов. В сутки через специальное оборудование - решетки, песколовки, отстойники, азротэнки - проходит до 80 тыс. м<sup>3</sup> стоков. Стоки отводятся в Красноярское водохранилище. В таблице 5 приведено качество и количество отведенных непосредственно в водохранилище стоков в 2017 году.

Таблица 5 - Количество сточных вод отводимых в Красноярское водохранилище [20]

| Район           | Отведено стоков всего, тыс. м <sup>3</sup> | Недостаточно очищенных, тыс. м <sup>3</sup> | %  |
|-----------------|--|---|----|
| Краснотуранский | 264  | 249   | 94 |
| Новосёловский   | 156  | 148   | 95 |
| Усть-Абаканский | 24557                                      | 13674                                       | 56 |

На рисунках 2 и 3 показана структура загрязняющих веществ, отводимых в Красноярское водохранилище, представленная по данным государственной статистической отчетности 2-ТП (Водхоз) Енисейского бассейнового водного управления [20].

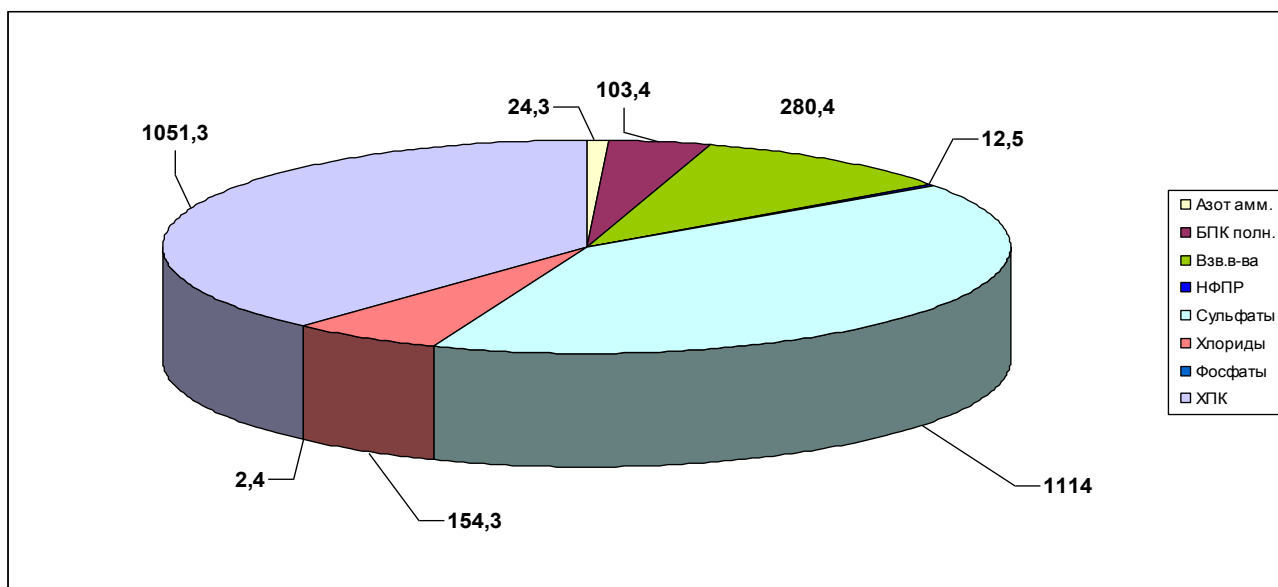


Рисунок 2 - Структура загрязняющих веществ отведенных в Красноярское водохранилище в 2017 году, т/год [20]

Наряду с контролируемыми сосредоточенными источниками загрязнения в последнее десятилетие существенно возросла роль неконтролируемых источников.

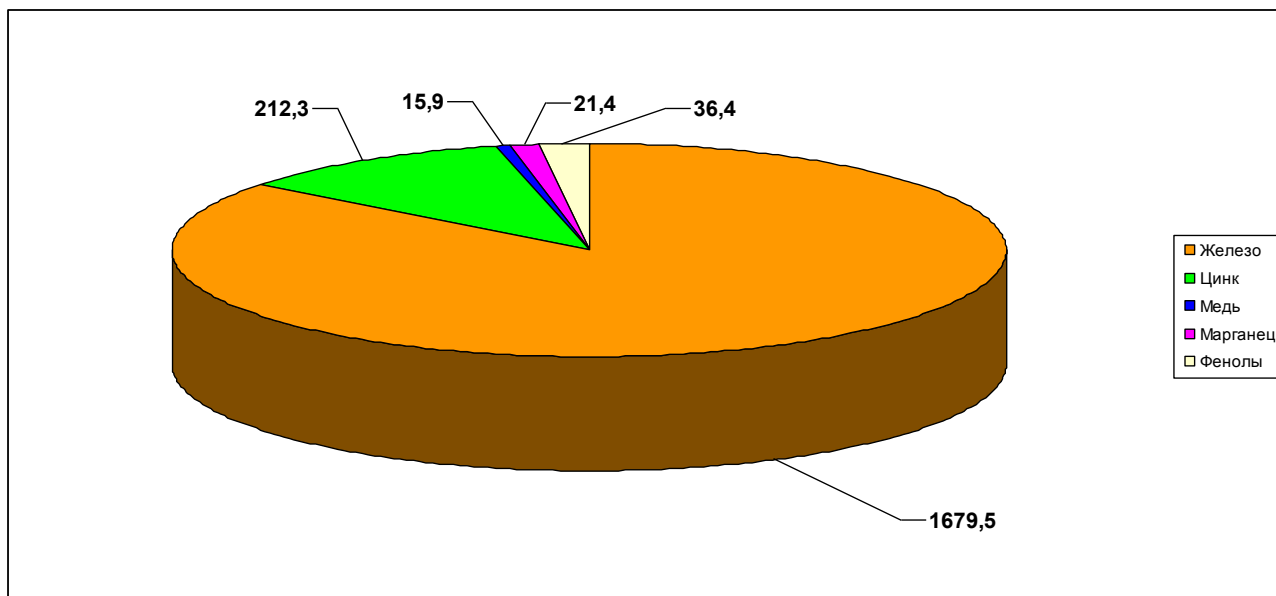


Рисунок 3 - Структура загрязняющих веществ отведенных в Красноярское водохранилище в 2017 году, кг/год [20]

Для различных видов хозяйственной деятельности населения отмечается определенная количественная и качественная дифференциация поступления в водохранилище загрязнений. Значительная доля загрязняющих веществ поступает в водохранилище с водосборов в виде рассредоточенного (диффузного) стока с территорий не канализованных. Чаще всего эти загрязняющие вещества не поддаются точному учету и корректной оценке. Так, фактически не учитываются источники загрязнения в виде выпадения из атмосферы; поверхностного стока с расположенных в береговой зоне водохранилища баз отдыха, фермерских хозяйств и садовых участков; стока с территорий населенных пунктов, где находятся АЗС, стоянки техники, мастерские, склады (предназначенные для хранения различных ядовитых химикатов), и мелких поселков, не имеющих канализованного стока; поверхностного стока с несанкционированных полигонов, используемых для складирования хозяйственно-бытовых отходов; загрязнения от рекреации, а также от аварийных и залповых сбросов.

## **4 Материалы и методика исследований водного объекта**

### **4.1 Основные положения программы мониторинга Красноярского водохранилища**

Возрастающие антропогенные нагрузки на окружающую природную среду влекут за собой изменения последней, что обуславливает необходимость проведения работ по линии мониторинга. Мониторинг – это система наблюдения, оценки и прогноза антропогенных изменений в окружающей природной среде. Важнейший принцип мониторинга «преемственность», т. е. использование сложившихся систем наблюдения за состоянием природной среды, всех знаний по анализируемому конкретному природному водному объекту (в данном случае – Красноярскому водохранилищу) [9].

Ведение государственного мониторинга водных объектов по количественным и качественным показателям состояния водных ресурсов осуществляется для достижения следующих целей: своевременного выявления и прогнозирования негативного воздействия вод, а также развития негативных процессов, влияющих на качество воды в водных объектах и их состояние, разработки и реализации мер по предотвращению негативных последствий этих процессов; оценки эффективности осуществляемых мероприятий по охране водных объектов; информационного обеспечения управления в области использования и охраны водных объектов, в том числе в целях государственного надзора в области использования и охраны водных объектов.

В «Бассейновой программе мониторинга поверхностных водных объектов, состояния дна, берегов водных объектов, ведения наблюдений за водохозяйственными системами, в том числе за гидротехническими сооружениями, находящимися в федеральной собственности» (далее – Программе мониторинга) заложена конечная задача: оперативное получение информации, оценка и прогнозирование изменений состояния водных объектов, количественных и качественных показателей состояния водных ресурсов с целью использования этих результатов планирующими, хозяйственными и контролирующими органами [20, 21].

Разработанная Программа мониторинга представляет собой оптимальный с эколого-экономической и информационной точки зрения вариант организации наблюдений за состоянием крупнейших водохранилищ Енисейского каскада ГЭС, в том числе Красноярского водохранилища [42].

Программа мониторинга включает два варианта апробированных и внедренных в обычную практику. Полная программа включает в себя круглогодичные и стационарные наблюдения, максимально разветвленную сеть станций, наблюдения по наибольшему числу показателей гидрохимического режима, анализ источников загрязнения экосистемы.

Сокращенная программа включает минимальное число реперных станций наблюдений, выбранных по результатам полной программы, наиболее характерные показатели экологического состояния водохранилища.

#### **4.2 Характеристика сети наблюдений и перечень контролируемых показателей**

Красноярское водохранилище получает неодинаковую антропогенную нагрузку: верховье принимает основную массу загрязненных промышленных хозяйственно-бытовых сточных вод; средняя часть загрязняется стоками от населенных пунктов, с сельскохозяйственных угодий; низовье загрязняется преимущественно водным транспортом.

Согласно Программе мониторинга сеть пунктов наблюдений, т. е. станций, разработана и апробирована на Красноярском водохранилище с учетом степени антропогенного воздействия. Пункты наблюдений организованы в первую очередь на участках, имеющих хозяйственное значение, а также подверженных значительному загрязнению промышленными, хозяйственно-бытовыми и сельскохозяйственными сточными водами. На, незагрязненных сточными водами, участках созданы пункты для фоновых наблюдений [20, 21].

Для наблюдения и анализа состояния поверхностных вод и донных отложений Красноярского водохранилища под руководством сотрудников Федерального государственного бюджетного учреждения «Енисейрегионводхоз» (Росводресурсы) были определены пункты наблюдений на участках: в зоне влияния сточных и дренажных вод предприятий-водопользователей; в зоне подпора крупных боковых притоков рек; на предплотинном участке водохранилища, являющимся важным для рыбного хозяйства.

Пункты наблюдений ФГУ «Енисейрегионводхоз» (Росводресурсы), на которых производятся отборы проб воды и донных отложений, показаны в таблице 6 и на рисунке 4.

Таблица 6 - Пункты наблюдений на Красноярском водохранилище [21]

| № пункта | Пункт наблюдения                  | Местоположение, км от устья | Субъект РФ         |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 1        | Устьевой участок р. Биджа         | 2860                        | Республика Хакасия |
| 2        | Сыдинский залив, п. Краснотуранск | 2793                        | Красноярский край  |
| 3        | Новоселовский плес                | 2670                        | Красноярский край  |
| 4        | п. Новоселово                     | 2669                        | Красноярский край  |
| 5        | Предплотинный участок             | 2503                        | Красноярский край  |



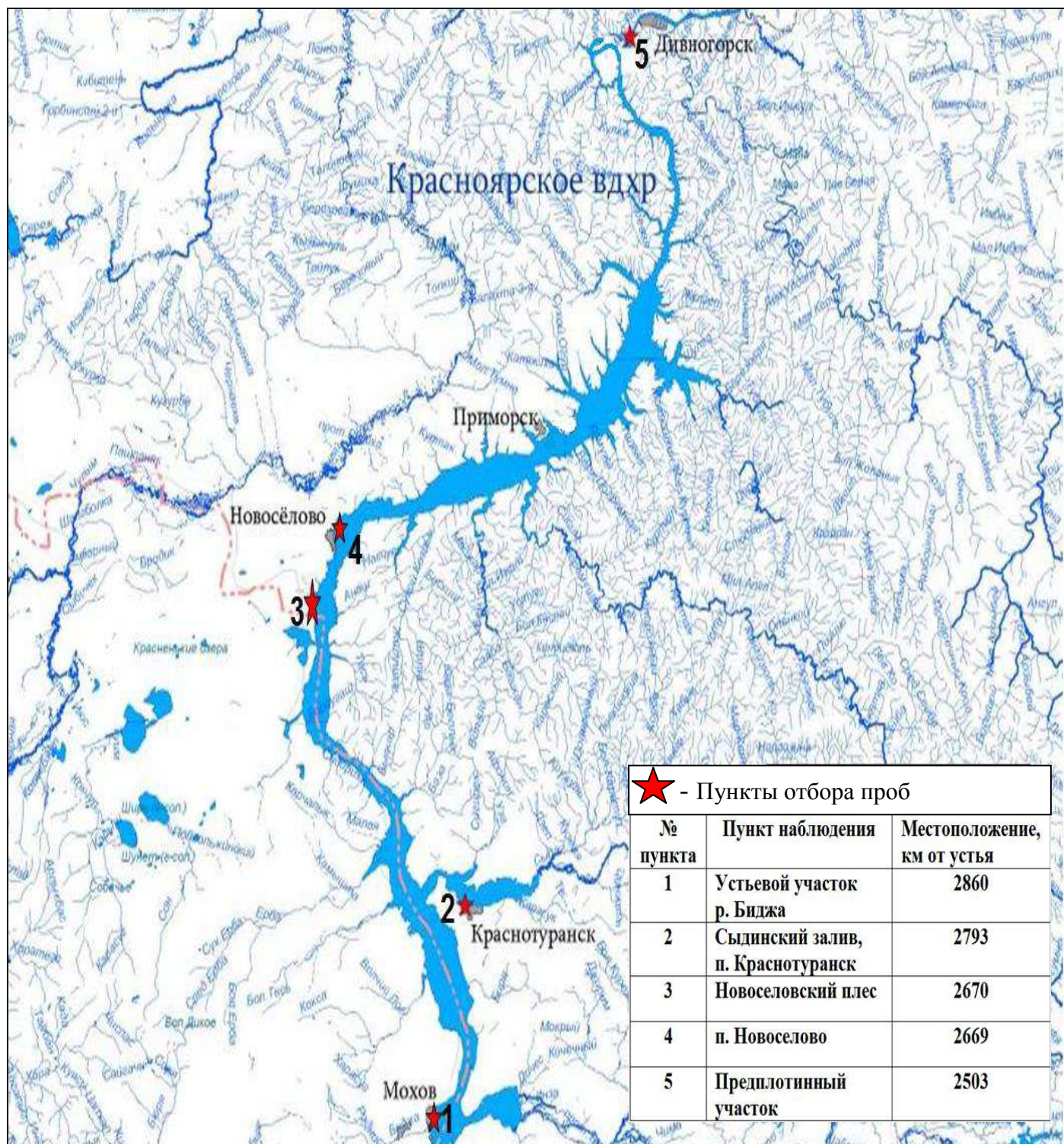


Рисунок 4 – Карта - схема сети пунктов наблюдений за состоянием поверхностных вод и донных отложений на Красноярском водохранилище (по Программе мониторинга) [21]



В пунктах наблюдения располагаются от одного до двух поперечных створов с одной или несколькими вертикалями по ширине водоема. Отбор проб воды производится в поверхностном горизонте до изобат 0,5 м, в створах с большими глубинами отбор проб воды осуществляется в нескольких горизонтах. Так, на предплотинном участке Красноярского водохранилища отбор проб воды производится в одном створе (пункте наблюдений) на трех вертикалях (0,1; 0,5; 0,9В), отбор донных отложений в пункте наблюдений выполняется на одной или трех вертикалях (0,1; 0,5; 0,9В). Соответственно Программе мониторинга 2016-2017 гг. в каждом створе расположение водных горизонтов на вертикалях соответствовало трем уровням: у поверхности, на 0,5 глубины (h), у дна.

Створы наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях, по возможности, совмещаются со створами наблюдений в поверхностном водном горизонте. Пробы донных отложений отбираются в месте, где слой отложений достигает максимальной толщины.

Организация и ведение мониторинга водохранилища, выбор участков водного объекта, на которых проводятся наблюдения, определение местоположения контрольных створов, вертикалей, горизонтов осуществляется согласно нормативным документам: РД 52.24.309–2011 «Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши»; РД 52.24.643–2002 «Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям»; СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод»; «Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения», утвержденные приказом Росрыболовства от 04.08.2009 г. № 695; СП 3.1.1.2521-09 «Профилактика холеры. Общие требования к эпидемиологическому надзору за холерой на территории Российской Федерации» [41, 42].

В соответствии с Программой мониторинга Красноярского водохранилища выполняется целый комплекс работ: визуальные наблюдения за состоянием водного объекта; отбор проб воды для производства анализа в стационарной лаборатории; выполнение химических определений неустойчивых компонентов химического состава воды непосредственно у водного объекта; отбор проб донных отложений на определение концентрации загрязняющих веществ; измерение расходов воды и температуры [21].

Отбор и анализ проб воды производится в соответствии с требованиями: ГОСТ 17.1.3.07-82 «Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков»; ГОСТ 17.1.4.01-80 «Охрана

природы. Гидросфера. Общие требования к методам определения нефтепродуктов в природных и сточных водах»; ГОСТ 17.1.5.05-85 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков»; ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб»; ГОСТ 17.1.5.04–81 «Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия»; Р 52.24.353-2012 «Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод» [42].

Состав контролируемых параметров определяется с учетом:

- показателей, отражающих характер и специфику воздействия при использовании водных объектов для различных целей;
- водохозяйственной обстановки в местах отбора проб.

В перечень контролируемых показателей включены следующие:

- а) гидрологические показатели: расход воды, уровень;
- б) гидрохимические показатели: визуальные наблюдения, температура, цветность, прозрачность, запах, концентрация растворенного кислорода; ХПК; БПК<sub>5</sub>/полн.; взвешенные вещества; водородный показатель; удельная электропроводность; концентрация главных ионов - хлоридных, сульфатных, гидрокарбонатных, кальция, магния, натрия; концентрация биогенных элементов - аммонийных, нитритных и нитратных ионов, фосфатов; концентрации широко распространенных загрязняющих веществ - нефтепродуктов, СПАВ, фенолов, ртути, свинца, кадмия, цинка, марганца, меди, железа, алюминия, молибдена, кадмия, хрома, никеля, фторидов, жиров, сульфидов;
- в) показатели загрязнения донных отложений: водородный показатель рН, нефтепродукты, ртуть, фенолы, медь, цинк, марганец, никель, нитриты, свинец, железо общее.

### **4.3 Методы и материалы исследований**

Материалом для исследования гидрохимического состояния воды и донных отложений Красноярского водохранилища в рамках Программы мониторинга послужили пробы, отобранные специалистами ФГУ «Енисейрегионводхоз» при личном участии автора в период 2013-2017 гг. с целью определения показателей загрязненности поверхностных вод и донных отложений. Наблюдения за качеством поверхностных вод и донных отложений велись на Красноярском водохранилище в 5 пунктах наблюдений (8 створов), местоположение которых определено в соответствии с методическими приемами. Перечень пунктов наблюдения, на которых производились отборы проб воды и донных отложений, соответствующий структуре действующей наблюдательной сети за состоянием водных объектов, представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень пунктов наблюдения, общее количество проб поверхностных вод и донных отложений, отобранных на Красноярском водохранилище и количество выполненных определений (2013-2017 гг.) [21]

| №<br>п/п      | Пункт наблюдения,<br>местонахождение<br>пункта наблюдения,<br>км. от устья | Количество проб    |            |            |            |            |                  |          |          |          |          | Количество определений |             |             |             |             |                  |           |           |           |           |
|---------------|--|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------------|----------|----------|----------|----------|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               |  | поверхностные воды |            |            |            |            | донные отложения |          |          |          |          | поверхностные воды     |             |             |             |             | донные отложения |           |           |           |           |
|               |  | 2013               | 2014       | 2015       | 2016       | 2017       | 2013             | 2014     | 2015     | 2016     | 2017     | 2013                   | 2014        | 2015        | 2016        | 2017        | 2013             | 2014      | 2015      | 2016      | 2017      |
| 1             | Устье р. Биджа,<br>2859,5  | 12                 | 9          | 9          | 9          | 9          | 1                | 1        | 1        | 1        | 1        | 276                    | 225         | 225         | 225         | 225         | 9                | 9         | 9         | 9         | 9         |
| 2             | Сыдинский залив,<br>п. Краснотуранск,<br>2793                              | 12                 | 12         | 12         | 12         | 12         | 1                | 1        | 1        | 1        | 1        | 252                    | 264         | 264         | 264         | 264         | 9                | 9         | 9         | 9         | 9         |
| 3             | Новоселовский<br>плес,<br>2670   | 20                 | 28         | 28         | 28         | 28         | -                | -        | -        | -        | -        | 240                    | 616         | 616         | 616         | 616         | -                | -         | -         | -         | -         |
| 4             | п. Новоселово,<br>2669   | 12                 | 12         | 12         | 12         | 12         | 1                | 1        | 1        | 1        | 1        | 288                    | 276         | 276         | 276         | 276         | 9                | 9         | 9         | 9         | 9         |
| 5             | Предплотинный<br>участок,<br>2503  | 44                 | 52         | 52         | 52         | 52         | 3                | 3        | 3        | 3        | 3        | 968                    | 1144        | 1144        | 1144        | 1144        | 27               | 27        | 27        | 27        | 27        |
| <b>Итого:</b> |  | <b>100</b>         | <b>113</b> | <b>113</b> | <b>113</b> | <b>113</b> | <b>6</b>         | <b>6</b> | <b>6</b> | <b>6</b> | <b>6</b> | <b>2024</b>            | <b>2525</b> | <b>2525</b> | <b>2525</b> | <b>2525</b> | <b>54</b>        | <b>54</b> | <b>54</b> | <b>54</b> | <b>54</b> |

В процессе выполнения работ использовался методический прием – комплексные экспедиционные съемки, которые отвечают главным условиям: оперативность (проведение в предельно сжатые сроки), что была обеспечена временная сопоставимость результатов всех пунктов наблюдений на водохранилище; комплексность, когда на каждом пункте контроля одновременно регистрируются гидрологические и гидрохимические показатели; включение автоматизированных приемов, приборного обеспечения отбора проб и регистрации ряда параметров на водоеме.

Отбор проб производился в соответствии со стандартными методиками [42]. При отборе материала для осуществления гидрохимического анализа воды и донных отложений была использована приборная база, включающая: две системы батометров, дночерпатель утяжеленный (площадь захвата 1/100 м<sup>2</sup>), атомно-абсорбционный спектрометр ZEE nit-700, 813-07001-2 AJ, аппаратно-программный комплекс для исследований на базе хроматографа «Хроматек-Кристалл 5000.2», определители температуры воды и содержания растворенного в воде кислорода (МАРК-2) (рис. 5, 6).

Пробы воды отбирали специальными батометрами, предназначенными для конкретной задачи:

- отбор поверхностных проб осуществляли батометром, состоящим из штанги длиной 1 м, к которой прикрепляется площадка для установки стерильной емкости для отбора проб и подвижное устройство для крепежа емкостей разных размеров;

- глубинные пробы отбирали батометром Молчанова ГР-18, состоящим из платформы с грузом, к которой прикрепляется стерильная емкость для отбора проб с пробкой (при этом пробка открывается с помощью, прикрепленной к ней веревки при достижении нужной глубины).

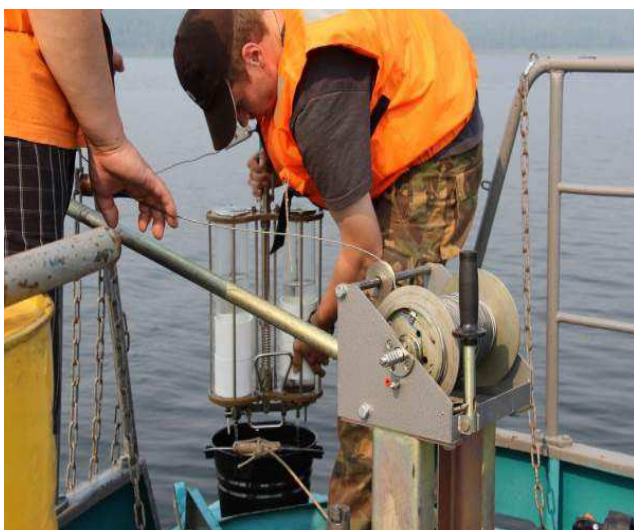


Рисунок 5 – Отбор проб воды на предплотинном участке Красноярского водохранилища



Рисунок 6 – Проведение химического анализа на содержание растворенного кислорода в воде прибором МАРК-2

Всего по Красноярскому водохранилищу в 2017 г. при непосредственном участии автора было отобрано 113 проб воды и 6 проб донных отложений (см. табл. 7). Данные, полученные за 2013-2016 гг., предоставлены специалистами ФГУ «Енисейрегионводхоз».

В пункте наблюдения располагалось от одного до двух поперечных створов с одной или тремя вертикалями по ширине водоема (0,1В; 0,5; 0,9В), при этом от левого берега на расстоянии 0,1 общей ширины водоема в пункте наблюдения находится первая вертикаль (0,1В), на расстоянии 0,5 общей ширины водоема – вторая вертикаль (0,5В), от правого берега на расстоянии 0,1 общей ширины водоема – третья вертикаль (0,9В). Отбор проб воды производили в поверхностном горизонте (до 0,5 м), в створах с большими глубинами отбор проб воды осуществляли с нескольких горизонтов (у поверхности, 0, 5h, у дна).

В верховье водохранилища отбор проб воды производили в устьевом участке р. Биджа в двух створах: 500 м выше устья реки (1 створ, 1 вертикаль - 0,1В) и 500 м ниже устья реки (1 створ, 1 вертикаль - 0,1В); у п. Краснотуранск в двух створах: 500 м выше выпуска сточных вод с ОС (1 створ, 1 вертикаль - 0,1В) и 500 м ниже ОС (1 створ, 1 вертикаль - 0,1В); в средней части - на Новоселовском плесе (1 створ, 3 вертикали - 0,1; 0,5; 0,9В), у п. Новоселово в двух створах: 500 м выше выпуска сточных вод с ОС (1 створ, 1 вертикаль - 0,1В) и 500 м ниже ОС (1 створ, 1 вертикаль - 0,1В). В нижней части водохранилища на предплотинном участке пробы отбирали в одном створе на трех вертикалях (0,1; 0,5; 0,9В) (см. рис. 4, приложения Б, Д).

Створы наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях, по возможности, совмещали со створами наблюдений в поверхностных водах. В верхней части водохранилища пробы отбирали в устьевом участке р. Биджа (1 створ, 1 вертикаль - 0,1В) и у п.

Краснотуранск (1 створ, 1 вертикаль - 0,1В); в средней части - у п. Новоселово (1 створ, 1 вертикаль - 0,1В), в низовье водоема - на предплотинном участке (1 створ, 3 вертикали (0,1; 0,5; 0,9В)). Отбор проб донных отложений производился одновременно с отбором проб воды в период максимального наполнения водохранилищ. Пробы донных отложений отбирались в месте, где слой отложений достигает максимальной толщины.

Аналитические работы по определению содержания загрязняющих веществ в пробах воды (22-25 ингредиентов) и донных отложений (9 ингредиентов) осуществляли по методикам, включенным в государственный реестр методик количественного химического анализа, в специализированной аккредитованной Росаккредитацией лаборатории ГХЛ ФГУ «Енисейрегионводхоз» (в области аккредитации ГХЛ – отбор проб и выполнение количественного химического анализа (КХА) различных объектов контроля: поверхностных, подземных, очищенных сточных и сточных вод, донных отложений, почв). Камеральную обработку проводили по общепринятым методикам [20, 21].

Сведения, полученные в результате проведения экспедиционных и камеральных исследований за период 2013-2017 гг. в рамках мониторинга Красноярского водохранилища, были обработаны и внесены авторам в автоматизированную информационную систему государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) для формирования электронного общего банка данных АИС ГМВО по бассейновым округам, речным бассейнам, водохозяйственным участкам, территориям субъектов и в целом по Российской Федерации. Сформированные автором таблицы банка данных содержат 19 переменных (характеристик) и более 300 наблюдений. Данная электронная база постоянно пополняется, что позволяет использовать ее для оценки и прогнозирования изменения состояния водных объектов, а в дальнейшем при планировании и реализации мероприятий по охране и использованию водных объектов.

Материалы по гидробиологическому режиму за период с 1978-2012 гг. предоставлены научным руководителем.

Математическая обработка данных и статистический анализ проводились в программах - Microsoft Office, Microsoft Office Excel.



## **5 Результаты исследований состояния воды и донных отложений Красноярского водохранилища**

### **5.1 Исследование гидрохимического состояния воды**

К основным показателям, по значениям которых оценивается экологическое состояние водохранилища, относятся гидрологические, органолептические, гидрохимические, гидробиологические (бактериологические показатели, характер сообществ гидробионтов, изменение их видового состава, в том числе ихтиофауны, и уровень заболеваемости последней). Как известно, качество воды в водохранилище зависит от многих факторов: природных условий региона, включая климатические, от геологического строения района, степени загрязнения реки, качества воды притоков, впадающих в водный объект, биологических показателей, гидрологического режима (в т. ч. условий регулирования поступающего стока), антропогенного влияния и пр. Все эти факторы взаимосвязаны между собой и определяют химический состав воды.

В данной работе, прежде всего, ставилась задача оценки гидрохимического состояния поверхностных вод и донных отложений Красноярского водохранилища.

В период исследований (2013-2017 гг.) в перечень гидрохимических контролируемых показателей поверхностных вод водохранилища вошли температура, растворенный кислород, водородный показатель (рН), ХПК, БПК<sub>5</sub>, БПК<sub>полн</sub>, фенолы, нефтепродукты, концентрация главных ионов - хлоридных, сульфатных; концентрация биогенных элементов - аммонийных, нитритных и нитратных ионов, фосфатов; концентрации широко распространенных загрязняющих веществ – железа, меди, марганца, цинка, никеля, ртути, свинца, алюминия.

Качество воды оценивалось по ПДК компонентов, принятым для водоемов рыбохозяйственного назначения (ПДК<sub>рыбхоз.</sub>). Как показал ретроспективный анализ данных предыдущих исследований в совокупности с материалами последних пяти лет, минерализация воды в водохранилище в летний период остается достаточно стабильной, в пределах 0,8-0,11 мг/л. По химическому составу вода относится к гидрокарбонатному классу кальциевой группы.

Температура является важной характеристикой водохранилища, показателем его возможного теплового загрязнения. К числу основных источников промышленных тепловых загрязнений относятся теплые воды электростанций и крупных промышленных предприятий, образующиеся в результате отведения тепла от нагретых агрегатов и машин. Тепловое загрязнение представляет собой достаточно опасное явление, вызывающее интенсификацию процессов жизнедеятельности гидробионтов и ускорение естественных жизненных циклов водных организмов, неблагоприятное



изменение скоростей химических и биохимических реакций, протекающих в водоеме.

Температура воды в водохранилище, в том числе и Красноярском, рассматривается как результат нескольких одновременно протекающих процессов, таких как солнечная радиация, испарение, теплообмен с атмосферой, перенос тепла водными течениями, турбулентное перемешивание водных масс. Как правило, прогревание воды происходит по вертикали сверху вниз. Годовые и суточные изменения температуры водных масс на поверхности и глубинах определяются количеством тепла, поступающего на поверхность, а также интенсивностью и глубиной их перемешивания. Суточные колебания температуры воды могут составлять несколько градусов и чаще наблюдаются на небольшой глубине. На мелководье амплитуда колебаний температуры воды близка к перепаду температуры воздуха.

Годовой термический цикл воды Красноярского водохранилища соответствует циклу глубоководных водоемов и подразделяется на несколько периодов: весеннее нагревание, летнее прогревание, летне-осеннее охлаждение, осенне-зимнее охлаждение и период низких температур под ледяным покровом. Процесс весеннего нагревания наступает с момента установления весенних температур (выше  $10^{\circ}\text{C}$ ), в основном, во второй декаде мая. Летнее прогревание наблюдается в июле - первой декаде августа и характеризуется наибольшими показателями температуры воды ( $14-23,3^{\circ}\text{C}$  в поверхностном слое,  $13-22^{\circ}\text{C}$  в придонном горизонте). Во второй половине августа, в сентябре наступает период летне-осеннего охлаждения, начинается медленное понижение температуры воды (до  $10^{\circ}\text{C}$ ). Осенне-зимнее охлаждение наступает в октябре, ноябре, температура снижается до  $4^{\circ}\text{C}$ . Наименьшие показатели температуры воды ( $0,1-0,4^{\circ}\text{C}$ ) зарегистрированы в январе-феврале (в период низких температур).

За период исследований на Красноярском водохранилище наибольшие перепады температур по горизонтам были зарегистрированы на предплотинном участке в летний период, когда интенсивно прогреваются поверхностные слои воды, достигая  $20^{\circ}\text{C}$ , а придонной горизонт характеризуется показателями около  $6^{\circ}\text{C}$ . Максимальные температурные показатели во всех водных горизонтах отмечены в июле у п. Красноятуранск (ниже ОС), минимальные в январе на предплотинном участке. По оси водохранилища на наблюдаемых участках величины температуры воды в июле варьировали в верховье в пределах  $14,2-23,2^{\circ}\text{C}$  - у поверхности,  $14,0-22,7^{\circ}\text{C}$  - в глубинном горизонте,  $13,8-22,2^{\circ}\text{C}$  - у дна; в средней части -  $16,9-17,2^{\circ}\text{C}$  - у поверхности,  $15,0-17,1^{\circ}\text{C}$  - в глубинном горизонте,  $14,0-17,0^{\circ}\text{C}$  - у дна; в нижней части водоема составляли -  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $9,8^{\circ}\text{C}$  и  $6,1^{\circ}\text{C}$  соответственно. В зимний период (в январе) амплитуда

колебаний температур воды как по участкам, так и по водным горизонтам была не значительна и не превышала  $0,7^{\circ}\text{C}$ .

На рисунке 7 представлен график изменения сезонных температур воды по горизонтам в исследуемых пунктах наблюдений на Красноярском водохранилище в 2017 г.

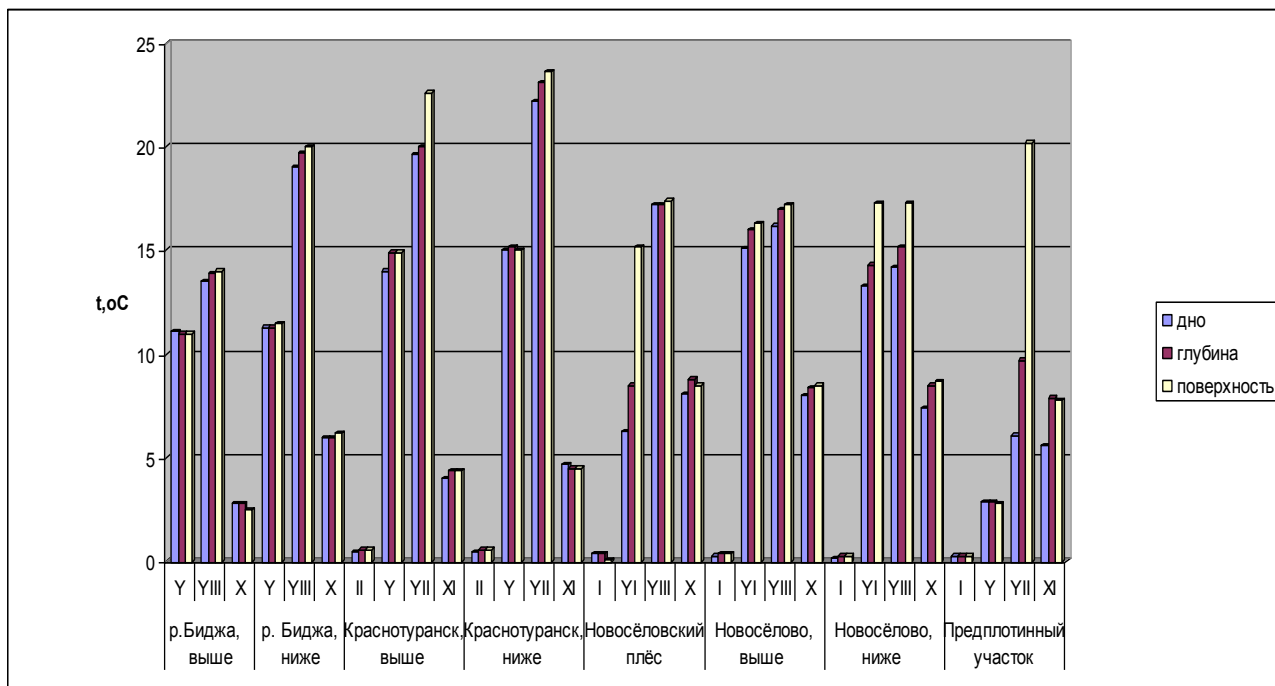


Рисунок 7 - График сезонных температур воды по горизонтам в пунктах наблюдений на Красноярском водохранилище (2017 г.)

В водоемах рыбохозяйственного значения, каким является Красноярское водохранилище, повышение температуры воды в результате спуска сточных вод допускается не более, чем на  $5^{\circ}\text{C}$  по сравнению с естественной температурой [27]. В исследуемый период температура воды в водохранилище в летние месяцы находилась в диапазоне от  $6,1^{\circ}\text{C}$  до  $23,2^{\circ}\text{C}$ , в зимний период варьировала от  $0,2^{\circ}\text{C}$  до  $0,9^{\circ}\text{C}$ , что соответствовало установленной климатической норме.

Как известно, температура воды является важнейшим фактором, влияющим на протекание в водохранилище химических, физических, биохимических и биологических процессов. В условиях теплового загрязнения значительно изменяются кислородный режим и изменяется интенсивность фотосинтеза, активность процессов самоочищения водоема [12, 24].

Растворенный кислород находится в природной воде в виде молекул  $\text{O}_2$ . На его содержание в воде влияют две группы противоположно направленных процессов: одни увеличивают концентрацию кислорода, другие уменьшают ее. К группе процессов, обогащающих воду кислородом, относятся: абсорбция кислорода из атмосферы, выделение кислорода водной растительностью в процессе фотосинтеза, поступление в водоемы с

осадками. В группу процессов, уменьшающих содержание кислорода в воде, включены реакции потребления его на окисление органических веществ: биологическое (дыхание организмов), биохимическое (дыхание бактерий, расход кислорода при разложении органических веществ) и химическое (окисление  $\text{Fe}_{2+}$ ,  $\text{Mn}_{2+}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) [12].

Газовый режим в Красноярском водохранилище имеет сезонный характер и определяется в течение года температурным режимом, характером водообмена, концентрацией органических веществ в воде. В период исследований отмечено относительно равномерное распределение растворенного в воде кислорода по акватории водохранилища. Межгодовая динамика средних показателей концентрации растворенного в воде кислорода по оси Красноярского водохранилища в 2013-2017 гг. показана на рисунке 8.

В пространственно-временной динамике прослеживается следующая тенденция: в 2013-2015 гг. концентрация кислорода не снижалась ниже 9,9 мг/л, колебания среднегодовых величин незначительны; в 2016 г. насыщение воды кислородом по акватории водохранилища варьировало в относительно широких пределах 8,5-10,3 мг/л; в 2017 г. среднегодовые значения концентрации кислорода в воде изменялись от 9,7 до 11 мг/л. Максимальная амплитуда колебаний температуры воды за исследуемый период (2013-2017 гг.) отмечена на Красноярском плесе.

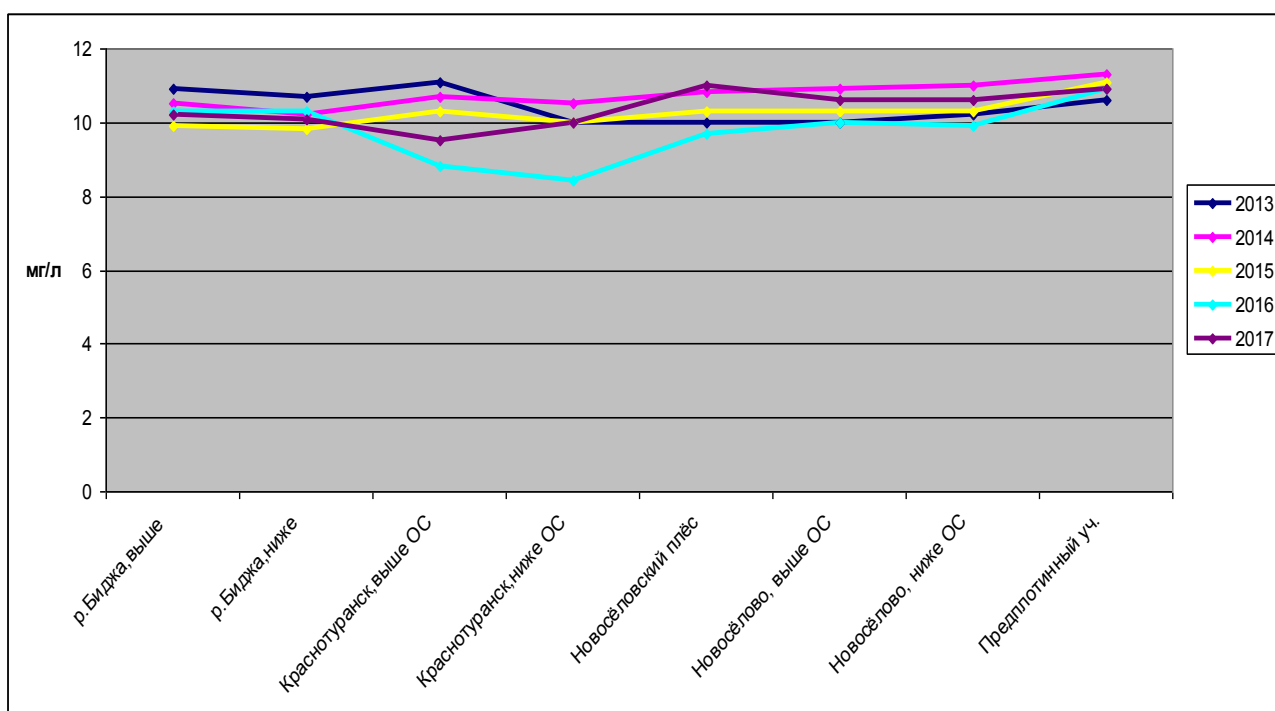


Рисунок 8 - Динамика средних показателей концентрации растворенного в воде кислорода по оси Красноярского водохранилища в 2013-2017 гг.

Наиболее существенными являются сезонные колебания средних концентраций растворенного кислорода по горизонтам (дно, глубина, поверхность) на исследуемых пунктах наблюдений водохранилища, как показано на рисунке 9. Максимальные концентрации растворенного кислорода (10-14 мг/л - у поверхности, 10,8-13 мг/л - в придонном горизонте) отмечены зимой (в январе - феврале), несмотря на ограниченный в этот период доступ кислорода из-за ледового покрытия. Очевидно, это обусловлено процессом фотосинтеза подледного фитопланктона.

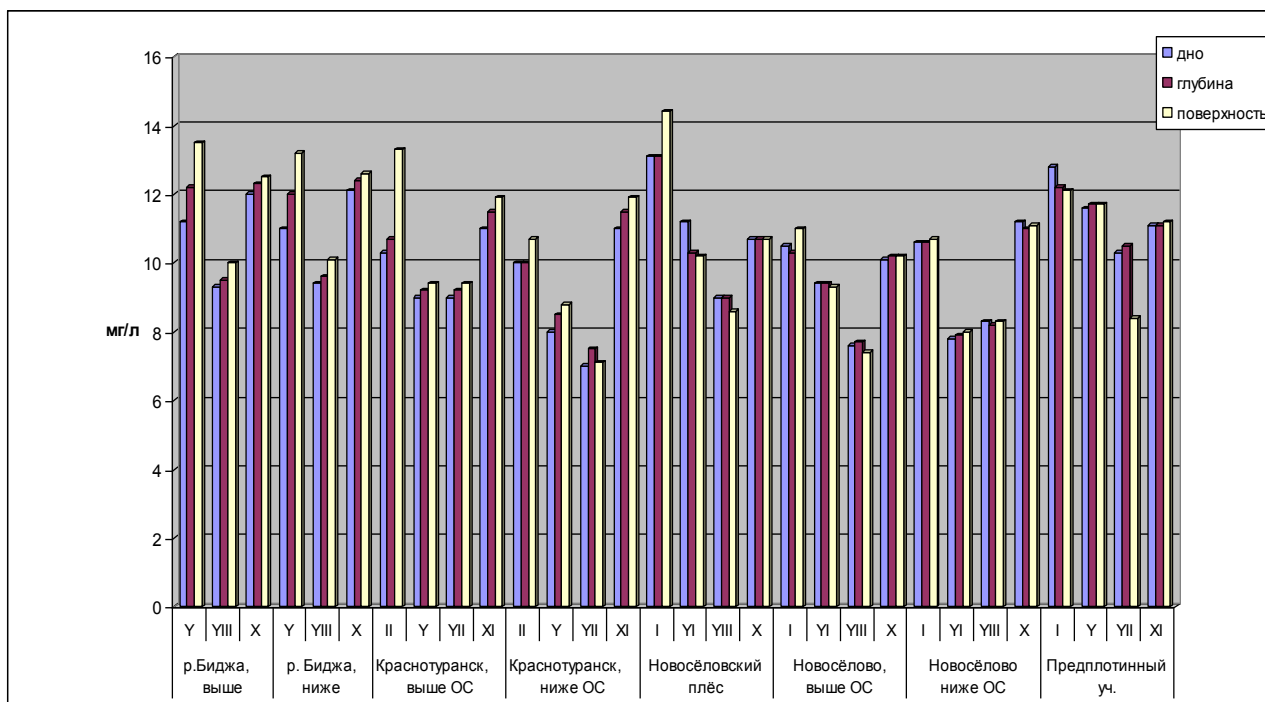


Рисунок 9 – Динамика среднесезонных концентраций растворенного кислорода по водным горизонтам в пунктах наблюдений на Красноярском водохранилище (2013-2017 гг.)

В течение года наименьшие значения концентрации кислорода от 7,0 мг/л до 10-10,3 мг/л в поверхностных и в придонных горизонтах водоема отмечены в середине - конце вегетационного периода (июль - август). Снижение содержания кислорода в воде в летний период по сравнению с зимой, несмотря на большее продуцирование при фотосинтезе, вероятно, происходит из-за уменьшения растворимости кислорода при высоких температурах воды и массового развития («цветения») синезеленых водорослей. Необходимо также отметить, что самые низкие показатели концентрации растворенного кислорода зарегистрированы на эвтрофированном участке водохранилища в зоне антропогенного влияния очистных сооружений п. Краснотуранск (6,8-7,0 мг/л) и п. Новоселово (8,6-9,0 мг/л).

Проведенные исследования дают основания сделать вывод о том, что концентрация растворенного кислорода в воде практически по всей

акватории находится на высоком уровне, во всех горизонтах Красноярского водохранилища и в разные сезоны года, за исключение участков, подверженных антропогенному воздействию, что в свою очередь говорит о его относительном экологическом благополучии.

Величина водородного показателя рН поверхностных вод водохранилища характеризует активность или концентрацию ионов водорода. Активная реакция воды (рН) Красноярского водохранилища в среднем слабощелочная, варьировала в диапазоне от 7,25 до 7,85. Максимальная величина – 8,2 зарегистрирована в 2017 году 500 м ниже очистных сооружений п. Краснотуранск.

Состав и особенности распределения органических соединений в водных объектах, в том числе и в водохранилищах, в большей степени связаны с поступлением загрязняющих веществ, особенностями жизнедеятельности водной биоты, а также внутриводоемными процессами. Для характеристики содержания органических веществ в воде водохранилищ традиционно применяются показатели БПК и ХПК.

Важным показателем содержания в воде органических веществ, как природного, так и антропогенного происхождения, является биохимическое потребление кислорода (БПК) представляющее собой количество кислорода, израсходованное на аэробное биохимическое окисление под действием микроорганизмов и разложение нестойких органических соединений, содержащихся в исследуемой воде. БПК рассматривается как один из важнейших критериев уровня загрязнения водоема органическими веществами, он определяет количество легкоокисляющихся органических загрязняющих веществ в воде. При его анализе определяется количество кислорода, ушедшее за установленное время (обычно 5 суток - БПК<sub>5</sub>) без доступа света при 20°C на окисление загрязняющих веществ, содержащихся в единице объема воды. Известно, что в течение 5 суток при нормальных условиях происходит окисление около 70% легкоокисляющихся органических веществ. Практически полное окисление (БПК<sub>полн</sub> или БПК<sub>20</sub>) достигается в течение 20 суток.

Для источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения и водных объектов, используемых в рыбохозяйственных целях, БПК<sub>полн</sub> не должно превышать 3 мг О<sub>2</sub>/л, предельно допустимые значения БПК<sub>5</sub> - не более 2 мг/л [53].

Сезонные колебания БПК зависят от изменения температуры воды и от исходной концентрации растворенного в ней кислорода. При повышении температуры на 10°C скорость потребления О<sub>2</sub> увеличивается в 2–3 раза.

Исследования показали, что БПК<sub>20</sub> поверхностных вод Красноярского водохранилища, в основном, находилось ниже ПДК<sub>рыбхоз.</sub> (от 0,4 до 0,7 ПДК<sub>рыбхоз.</sub>). Исключение составляет район влияния очистных сооружений п. Краснотуранск, где этот показатель достигал недопустимых для водоемов рыбохозяйственного назначения максимальных значений (от 1,7 до 2,7 ПДК<sub>рыбхоз.</sub>), что указывает на загрязнение поверхностных вод

органическими веществами антропогенного происхождения и их эвтрофикацию. На рисунке 10 показана динамика величин БПК<sub>полн.</sub> в поверхностном горизонте воды в Красноярском водохранилище с 2013 по 2017 гг.

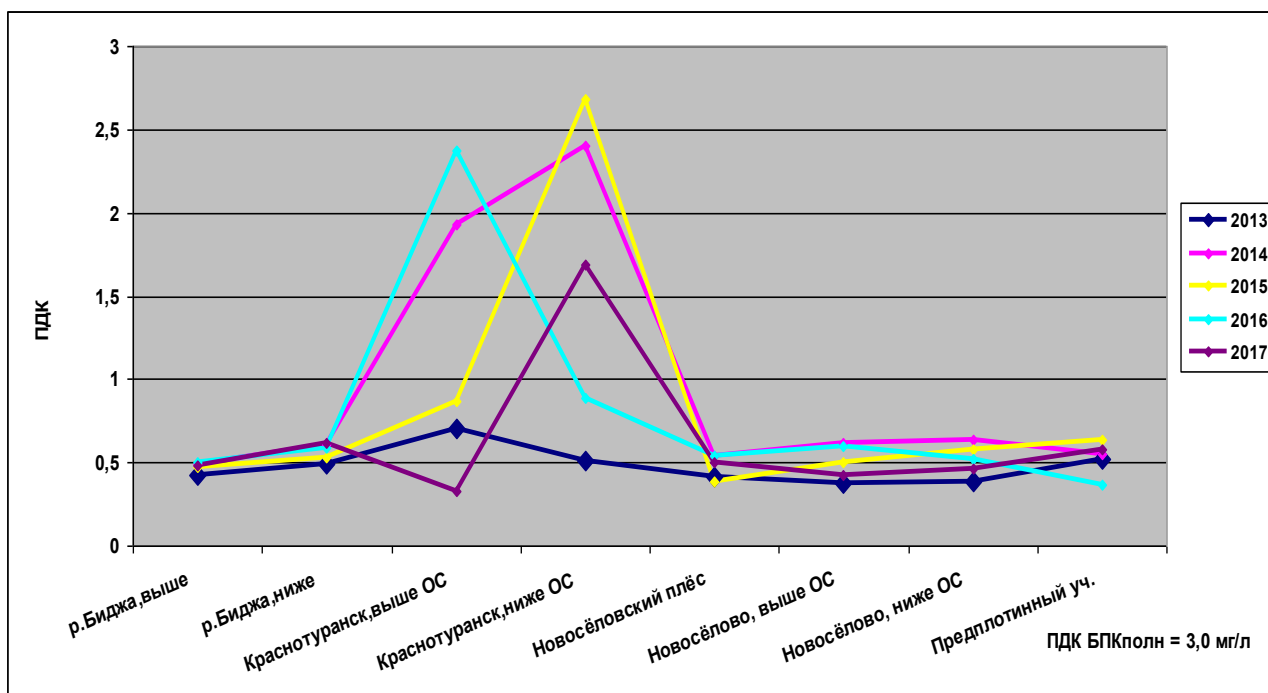


Рисунок 10 - Динамика величин БПК<sub>полн.</sub> в поверхностном горизонте воды в Красноярском водохранилище (2013-2017 гг.)

Химическое потребление кислорода (ХПК), величина, характеризующая содержание органических веществ в воде, которая выражается в миллиграммах кислорода, пошедшего на окисление органических веществ, содержащихся в литре воды. ХПК является одним из основных показателей степени загрязнения питьевых, природных и сточных вод органическими соединениями, в основном антропогенного характера. Величина ХПК подвержена закономерным сезонным колебаниям. Их характер определяется, поступлением органических веществ с водосбора, а также гидробиологическим режимом [15].

Антропогенное влияние очистных сооружений, расположенных вблизи пунктов наблюдений на водохранилище, прослеживается и при определении показателя ХПК. За исследуемый период (2013-2017 гг.) в пространственно-временной динамике величин ХПК прослеживалась практически общая тенденция: повышение ХПК в районе п. Краснотуранск, при этом максимальное значение зарегистрировано в 2014 г. - 1,4 ПДК (для вод рыбохозяйственных водоемов ПДК=15 мг/л) (приложение Г). Динамика величин ХПК в поверхностном горизонте воды в Красноярском водохранилище за пятилетний период представлена на рисунке 11.

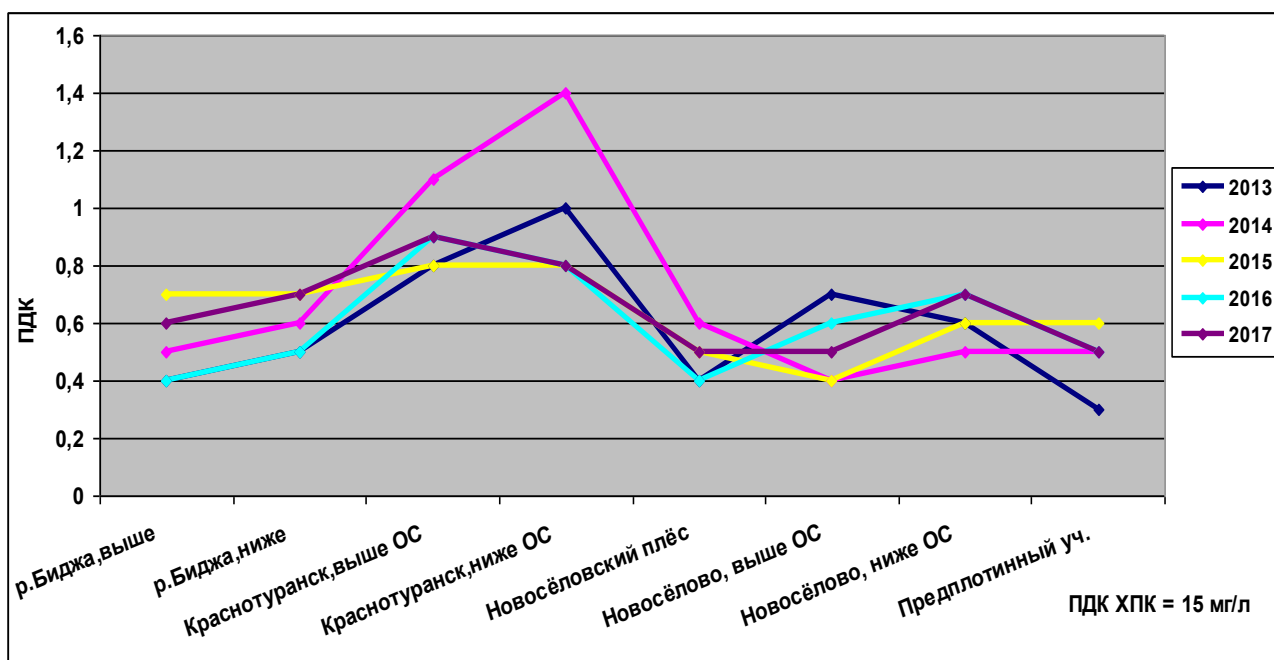


Рисунок 11 - Динамика величин ХПК в поверхностном горизонте воды в Красноярском водохранилище (2013-2017 гг.)

Содержание биогенных элементов в воде Красноярского водохранилища незначительно. За весь период исследования концентрации аммонийного азота и фосфатов фиксировались в величинах ниже  $\text{ПДК}_{\text{рыбхоз.}}$  ( $\text{ПДК}_{\text{рыбхоз.}}$  для аммонийного азота - 0,4 мг/л, для фосфатов - 0,2 мг/л). Наметившаяся тенденция постепенного накопления минеральных форм азота и фосфора подтверждает относительно медленный и достаточно продолжительный характер процесса эвтрофирования глубоководного водоема Сибири.

Содержание нитритов и нитратов в поверхностных водах на всех пунктах наблюдения Красноярского водохранилища на протяжении последних пяти лет наблюдений определялось в концентрациях ниже  $\text{ПДК}_{\text{рыбхоз.}}$  ( $\text{ПДК}_{\text{рыбхоз.}}$  для нитритов - 0,02 мг/л, для нитратов - 9 мг/л). Как известно, нитриты представляет собой промежуточную ступень в цепи бактериальных процессов окисления аммония до нитратов (нитрификации, протекающей в аэробных условиях) и, напротив, восстановления нитратов до азота и аммиака (денитрификации, происходящей при недостатке кислорода). Сезонные колебания содержания нитритов в воде обычно характеризуются отсутствием их в зимний период и появлением в весенний, наибольшая концентрация нитритов отмечается в конце лета, осенью их содержание сокращается.

Определяющее влияние на формирование режима биогенных элементов в верхней части водохранилища (устьевого участка р. Биджа) оказывает преимущественно сток реки, на основной части водоема содержание биогенных элементов регулируется внутриводоемными процессами.



Содержание хлоридов и сульфатов в воде в створах на всех пунктах наблюдения в период исследований регистрировалось также в концентрациях ниже ПДК<sub>рыбхоз.</sub> (ПДК<sub>рыбхоз.</sub> для хлоридов – 300 мг/л, для сульфатов – 100 мг/л) (приложение В).

Фенолы, как и нефтепродукты, в течение всего периода функционирования водохранилища являются одними из приоритетных токсикантов из числа изученных органических веществ, которые загрязняют водохранилище. В ретроспективе заметное содержание в воде фенолов на первых этапах существования Красноярского водохранилища, могло быть связано с гниением затопленной древесины, что характерно для водохранилищ, в том числе Енисейского каскада (например, Саяно-Шушенского) [26].

Содержание фенолов практически в течение периода исследований (2013-2017 гг.) по всей длине водохранилища находилось в пределах ПДК<sub>рыбхоз.</sub> (ПДК<sub>рыбхоз.</sub> для фенолов – 0,001 мг/л), за исключением зоны влияния очистных сооружений п. Краснотуранск, где в 2015 г. их содержание превысило ПДК<sub>рыбхоз.</sub> в 2,5 раза. Необходимо отметить, что на протяжении ряда лет ситуация с содержанием фенолов практически не меняется, при чем последние представляют собой продукты природного и техногенного происхождения. Общая динамика концентраций фенолов по длине водохранилища в 2013-2017 гг. представлена на рисунке 12.

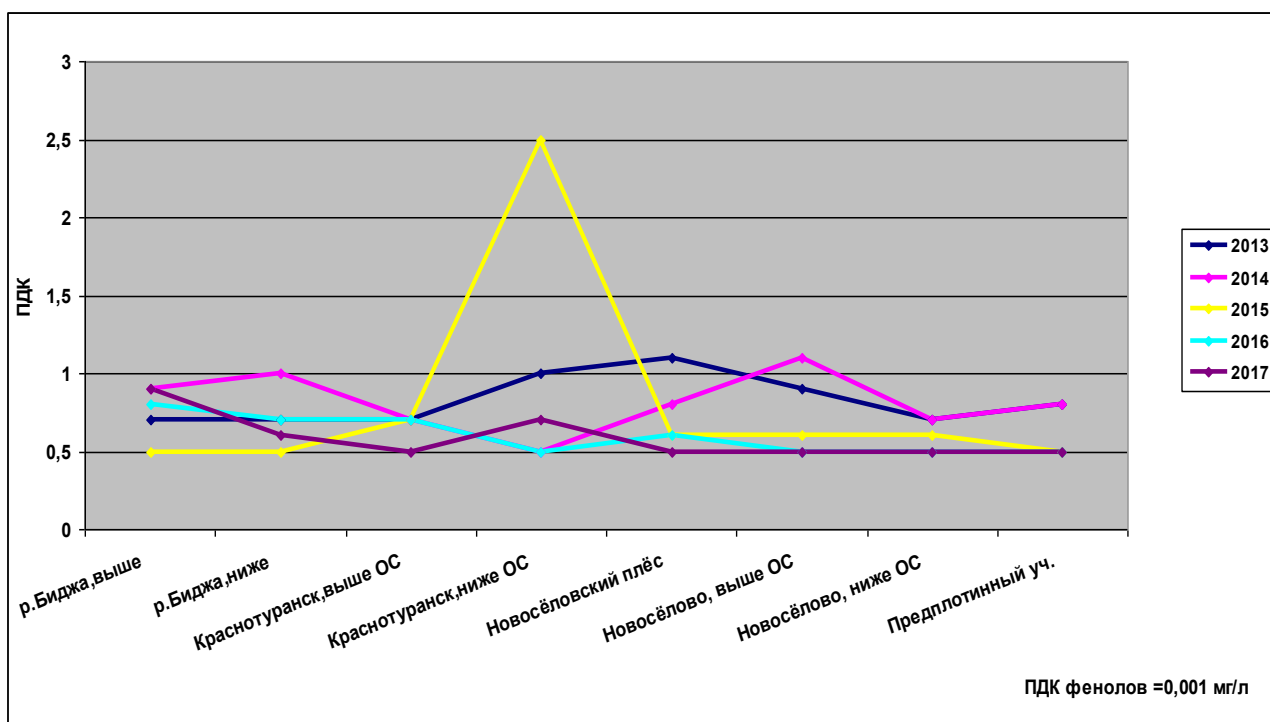


Рисунок 12 - Динамика концентраций фенолов в поверхностном горизонте воды в Красноярском водохранилище с 2013 г. по 2017 г.

Содержание нефтепродуктов в воде, определяемое по всей акватории водохранилища, находилось ниже пределов ПДК<sub>рыбхоз.</sub> (ПДК<sub>рыбхоз.</sub> для НФПР – 0,05 мг/л). Исключение составляет предплотинный участок, на котором в 2015

г. отмечено превышение  $\text{ПДК}_{\text{рыбхоз.}}$  в 1,6 раза, возможно это связано с увеличением поступления от судоходного транспорта (рис. 13).

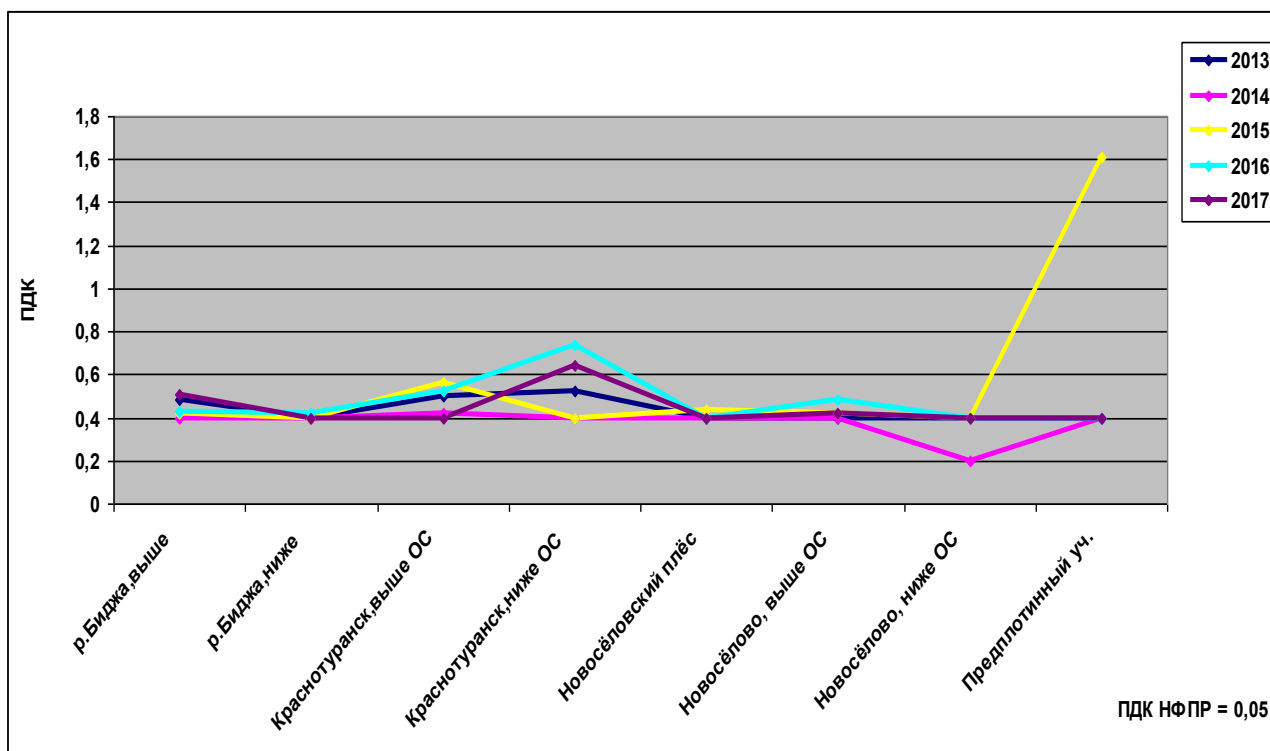


Рисунок 13 - Динамика концентраций нефтепродуктов в поверхностном горизонте воды в Красноярском водохранилище с 2013 г. по 2017 г.

К наиболее опасным загрязняющим веществам, содержащимся в пробах воды, относятся соединения тяжелых металлов (железо (Fe), медь (Cu), цинк (Zn), марганец (Mn), никель (Ni), свинец (Pb), ртуть (Hg) и др.), которые могут существовать в воде в виде токсичных растворимых солей и комплексных соединений, коллоидных частиц, осадков. Попадая в водоем, тяжелые металлы не разлагаются и не исчезают, переходя из одного соединения в другое или перемещаясь между жидкой и твердой фазами, в конечном итоге перераспределяются в водных экосистемах: концентрируются в донных отложениях и биоте. Сорбция тяжелых металлов донными отложениями в основном зависит от особенностей их состава, а также содержания органических веществ.

Основные гидрохимические показатели, по которым в результате проведенных исследований, были выявлены превышения  $\text{ПДК}_{\text{рыбхоз.}}$  по Красноярскому водохранилищу - это тяжелые металлы: железо, медь, марганец, цинк.

Содержание железа в воде водоема в течение наблюдаемого периода определялось в широком диапазоне: от минимума - 1,7  $\text{ПДК}_{\text{рыбхоз.}}$  ( $\text{ПДК}_{\text{рыбхоз.}}$  для Fe – 0,1 мг/л), зарегистрированного на приплотинном участке в 2013-2017 гг., до максимума - 23,7  $\text{ПДК}_{\text{рыбхоз.}}$ , отмеченного в зоне влияния очистных сооружений п. Краснотуранск в 2013 г. На рисунке 14

показана общая динамика концентрации железа в поверхностном горизонте воды Красноярского водохранилища по годам (2013-2017 гг.).

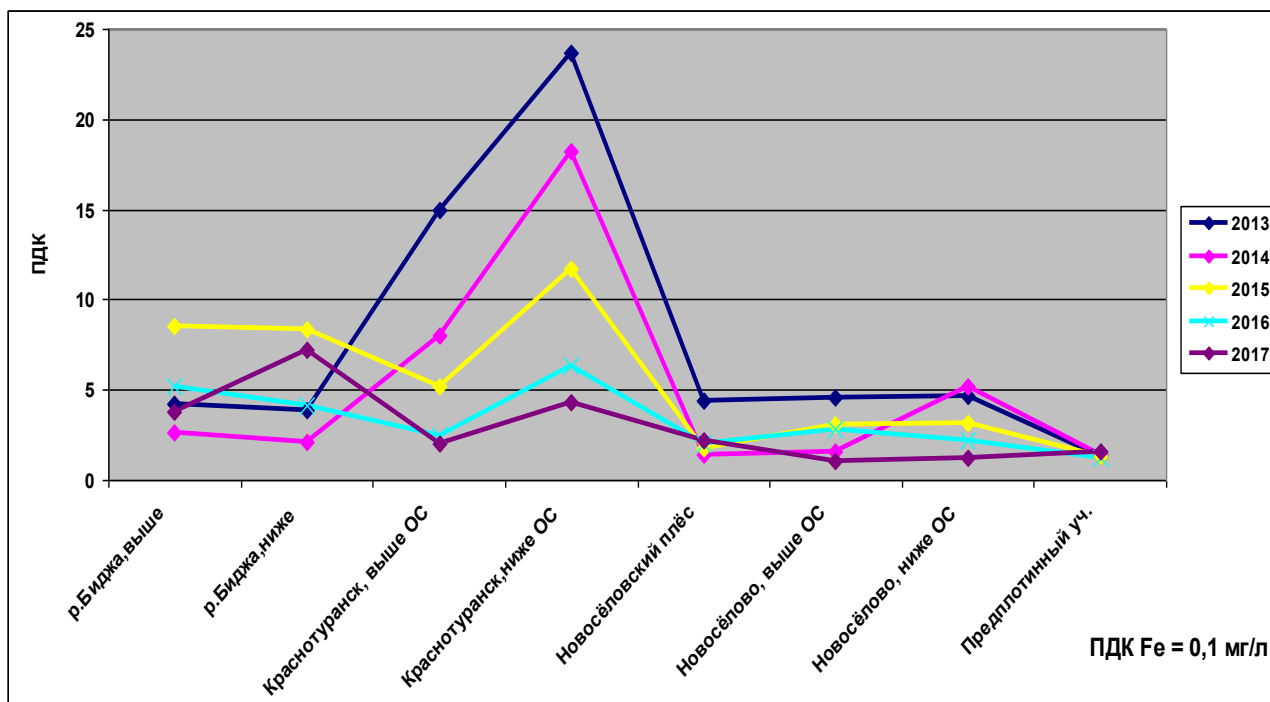


Рисунок 14- Динамика концентраций железа в поверхностном горизонте воды в Красноярском водохранилище с 2013 по 2017 гг.

Высокие концентрации железа были зарегистрированы уже в районе устья р. Биджа ( $3,8 \text{ ПДК}_{\text{рыбхоз}}$ ), это объясняется, скорее всего, вымыванием его из горных пород, а также дренажем шахтных вод с территории Хакасии. Ситуация усугубилась в районе очистных сооружений п. Краснотуранск, где на природный фон наслаивается антропогенное влияние. На данном участке в 2013 г. концентрация железа в воде достигала своего максимума. Начиная с 2016 г. ситуация по железу улучшилась в связи с уменьшением его содержания в сточных водах Краснотуранского ЖКХ и Новоселовского предприятия «Водоканал+», что подтверждают данные 2-ТП (Водхоз) [21].

В 2017 г. концентрации железа на всех пунктах наблюдений находилась в пределах  $1,7-7 \text{ ПДК}_{\text{рыбхоз}}$ . В характере распределения содержания железа в воде по горизонтам в исследуемых створах Красноярского водохранилища выявлена общая тенденция к увеличению концентрации железа по вертикали от поверхностного слоя воды до придонного водного горизонта. При этом максимальные значения отмечены у п. Краснотуранск в зоне влияния ОС, что наглядно показано на примере данных за 2017 г. (рис. 15).

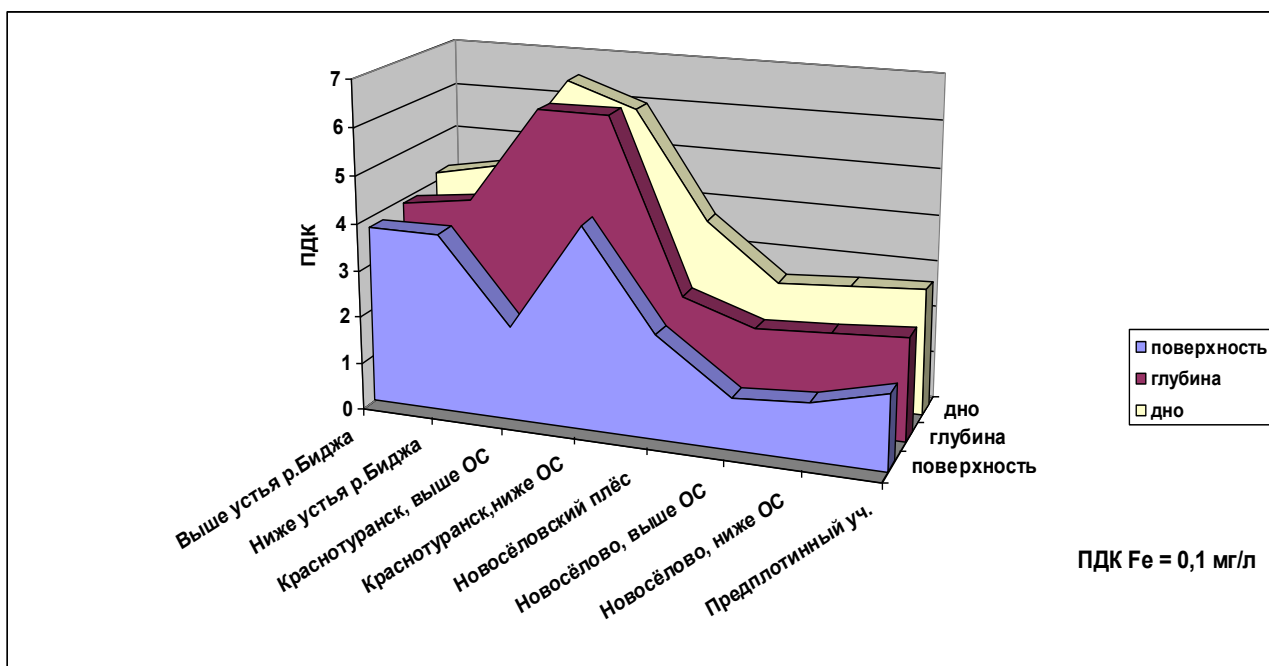


Рисунок 15 - Распределение содержания железа в воде по горизонтам в Красноярском водохранилище в 2017 г.

В 2017 г. по всей акватории Красноярского водохранилища отмечена максимальная амплитуда колебаний концентраций меди, превышающих  $\text{ПДК}_{\text{рыбхоз}}$  ( $\text{ПДК}_{\text{рыбхоз}}$  для Cu – 0,001 мг/л): от 1,9  $\text{ПДК}_{\text{рыбхоз}}$  в районе устья р. Биджа до 5,7  $\text{ПДК}_{\text{рыбхоз}}$  в зоне влияния очистных сооружений п. Новоселово. На рисунке 16 показана динамика концентраций меди в поверхностном горизонте воды в Красноярском водохранилище с 2013 по 2017 гг.

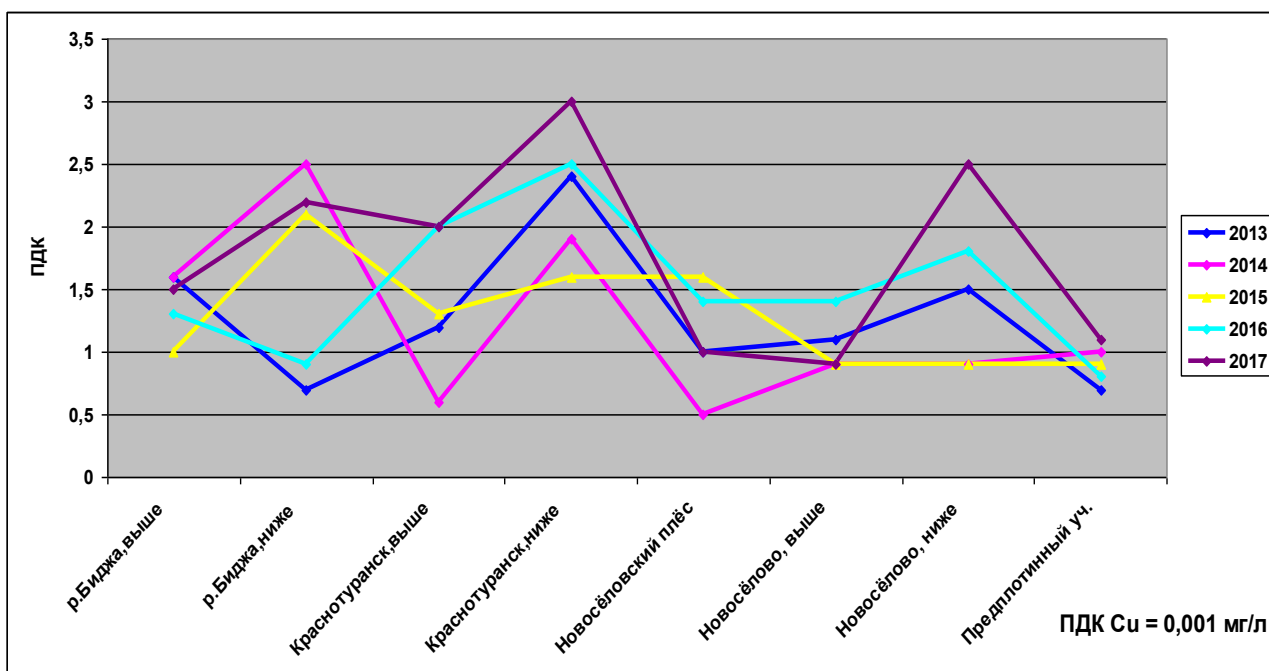


Рисунок 16 - Динамика концентраций меди в поверхностном горизонте воды в Красноярском водохранилище с 2013 по 2017 гг.

Исследование в 2017 г. характера изменения содержания меди в воде по горизонтам, показало наиболее неблагоприятную ситуацию, сложившуюся в глубинных и придонных горизонтах в водоеме, с тенденцией постепенного увеличения содержания токсичного металла, как по вертикали от поверхностного слоя воды до придонного водного горизонта (рис. 17).

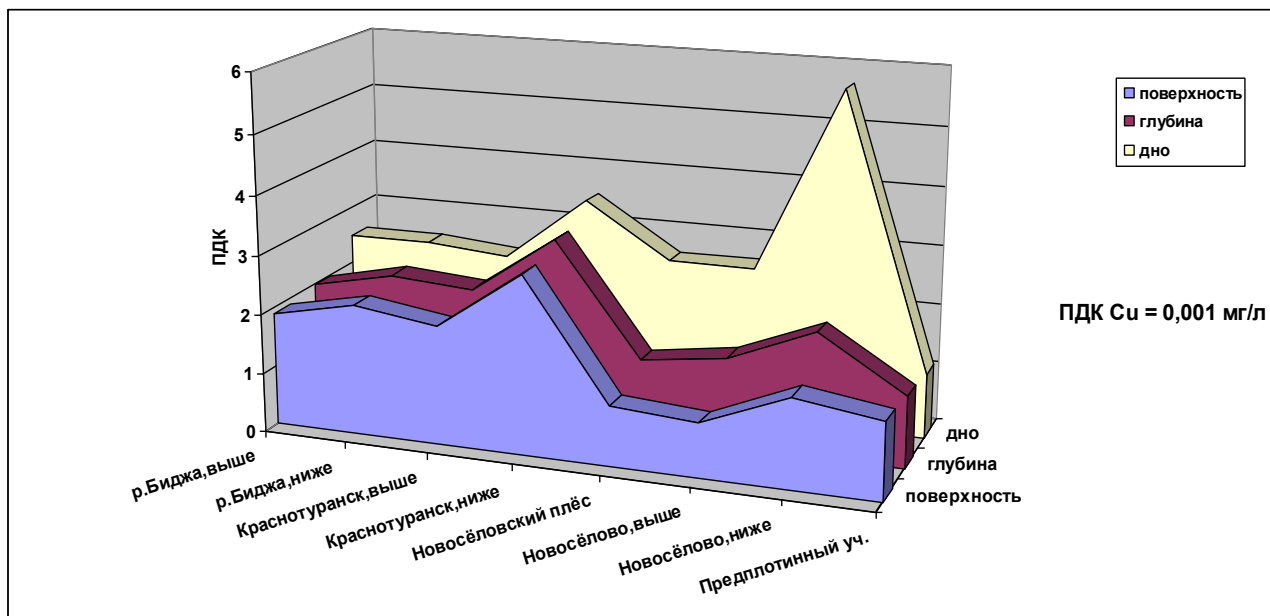


Рисунок 17- Распределение содержания меди в воде по горизонтам в Красноярском водохранилище в 2017 г.

В районе устья р. Биджа в придонных горизонтах зарегистрировано превышение концентрации меди по ПДК<sub>рыбхоз.</sub> в 2,5 раза, что также как и в случае с железом, скорее всего, объясняется природно-фоновым загрязнением. Повышенное содержание ионов меди в воде характерно и для других водохранилищ Енисейского каскада (например, Саяно-Шушенского), и объясняется контактом поверхностных вод Енисея с медьсодержащими породами [26]. Наряду с загрязнением природного характера в Красноярском водохранилище ниже, в районе п. Краснотуранск и п. Новоселово (в зонах влияния ОС) добавляется антропогенное влияние очистных сооружений, где в придонном горизонте концентрация меди достигала 3,4 и 5,7 ПДК<sub>рыбхоз.</sub> соответственно. Сменой объема воды в водоеме могут быть также объяснены различия по содержанию загрязняющего компонента в разные годы исследований водохранилища.

Результаты исследования содержания марганца в воде по всей длине Красноярского водохранилища показали: в 2014 г. концентрация его достигала максимума - 2,5 ПДК<sub>рыбхоз.</sub> (ПДК<sub>рыбхоз.</sub> для Mn – 0,01 мг/л) на участке ниже устья р. Биджи, в 2016 г. составляла 2,2 ПДК<sub>рыбхоз.</sub> ниже п. Краснотуранск, в 2017 г. находилось в пределах ПДК<sub>рыбхоз.</sub> Характер такого изменения концентрации марганца в воде, возможно, обусловлен разной водностью в эти годы. Анализ пространственно-временной динамики концентраций марганца в

поверхностном горизонте воды в пунктах наблюдений на Красноярском водохранилище за пятилетний период наблюдений (2013-2017 гг.) показал снижение содержания марганца ниже ПДК<sub>рыбхоз.</sub> к 2017 г. практически по всей оси водохранилища (рис. 18).

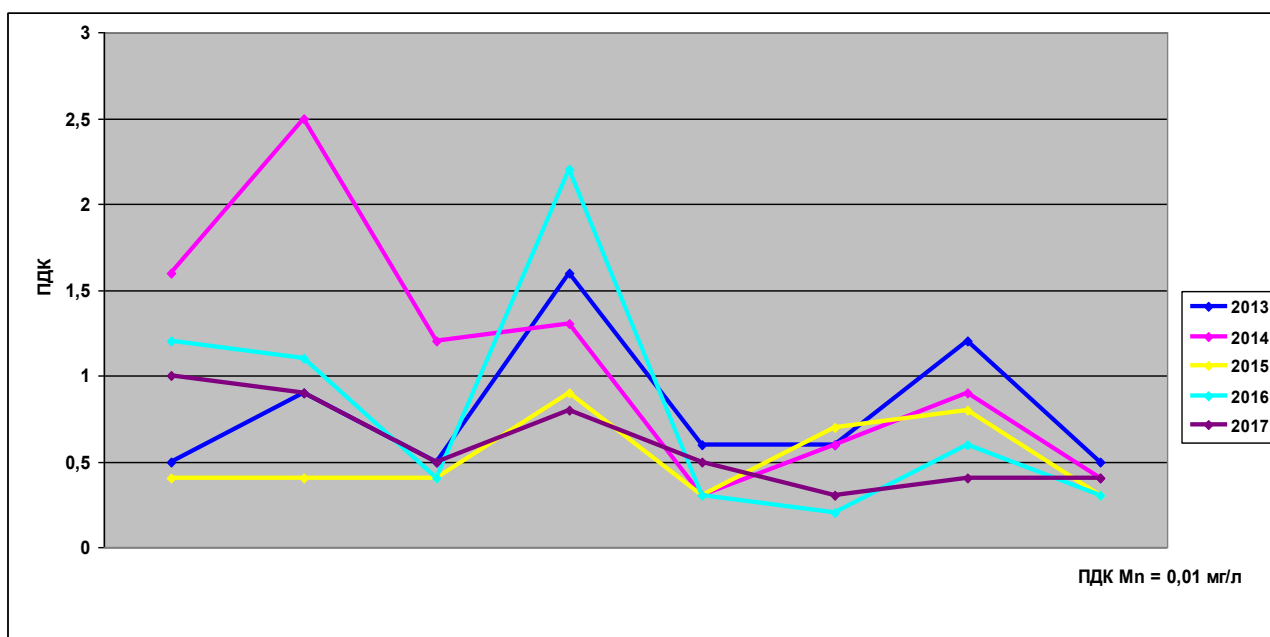


Рисунок 18 - Динамика концентраций марганца в поверхностном горизонте воды в Красноярском водохранилище с 2013 г. по 2017 г.

Характер распределения содержания марганца по водным горизонтам в Красноярском водохранилище показан на примере данных за 2017 г. (рис. 19).

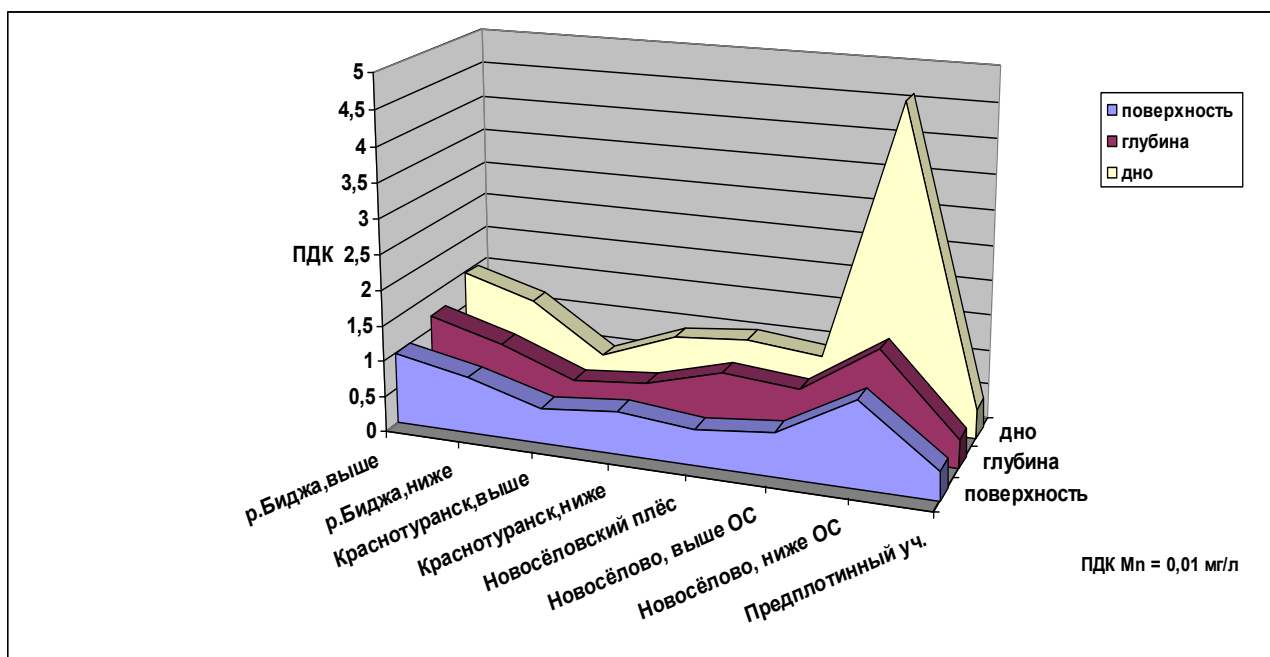


Рисунок 19 - Распределение содержания марганца в воде по горизонтам в Красноярском водохранилище (2017 г.)

Отмечено, что концентрации марганца в воде по горизонтам распределялись достаточно равномерно вдоль оси водоема от устья р. Биржа до предплотинного участка. Исключение составляет придонный горизонт в районе Новоселовского плеса, где его концентрации в 2017 г. достигала 4,5 ПДК<sub>рыбхоз.</sub>, что, скорее всего, объясняется «вторичным» загрязнением, т. е. вымыванием его из грунтов, а также влиянием сточных вод очистных сооружений.

Содержание цинка практически по всей акватории Красноярского водохранилища определялось в пределах ПДК<sub>рыбхоз.</sub> (ПДК<sub>рыбхоз.</sub> для Zn – 0,01 мг/л) в течение всего периода наблюдений. Превышение ПДК<sub>рыбхоз.</sub> в 1,2 раза зафиксировано в придонном горизонте в районе влияния очистных сооружений п. Краснотуранск, как показано на рисунке 20.

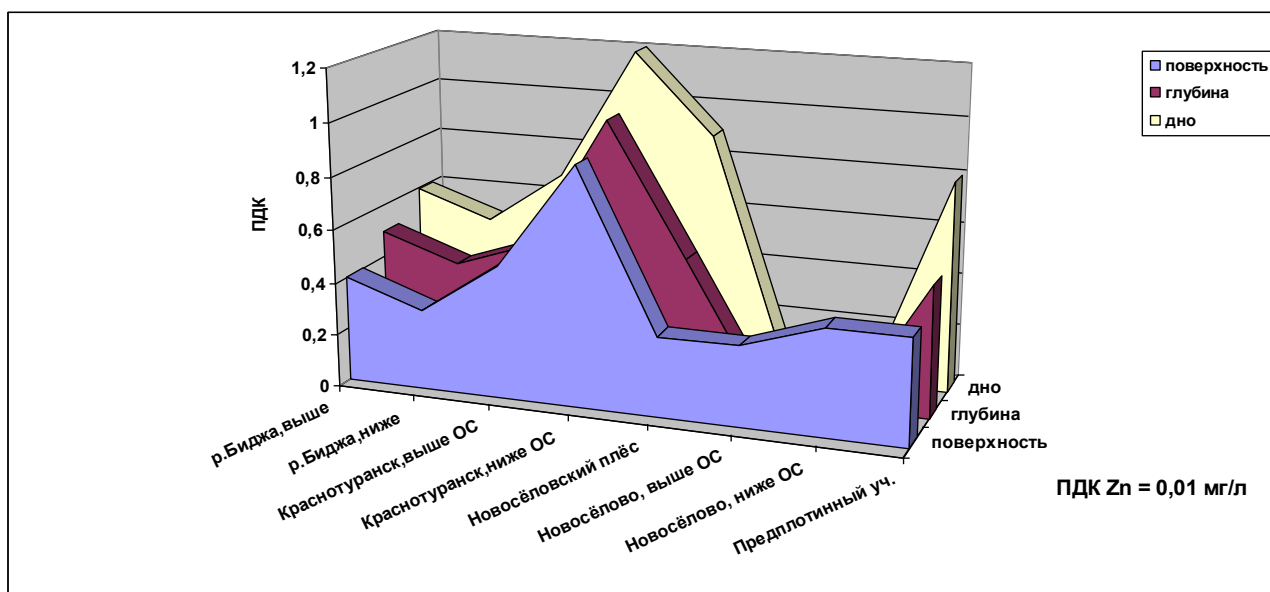


Рисунок 20 - Распределение содержания цинка по водным горизонтам в Красноярском водохранилище в 2017 г.

По токсикологическим оценкам «стресс-индексов» тяжелые металлы занимают второе место, уступая пестицидам [25]. Наиболее токсичны соли тяжелых металлов, которые (из числа всех отмеченных в пробах воды в пунктах наблюдений на Красноярском водохранилище) по убыванию токсичности можно расположить в следующий ряд: Ni > Zn > Cu > Mn > Fe. В воде Красноярского водохранилища в количественном отношении приведенные тяжелые металлы образуют убывающий ряд: Fe > Cu > Mn > Zn (приложение В).

В настоящее время тяжелые металлы являются одним из основных компонентов загрязнения водохранилища, при этом отмечается относительная устойчивость данного загрязнения.

Все другие из определяемых химических веществ в пробах воды, определены в концентрациях значительно ниже ПДК для водных объектов, используемых в рыбохозяйственных целях.



На основании проведенных исследований, необходимо отметить, что изучение экосистемы Красноярского водохранилища должно быть направлено на расширение спектра определяемых загрязняющих веществ, их идентификацию с применением высокоэффективных методов, выявление характера их происхождения (природного, антропогенного), изучение особенностей процессов распределения химических соединений между всеми компонентами водной экосистемы и механизмов их трансформации.

## **5.2 Анализ химического состояния донных отложений**

Одним из экологически опасных факторов формирования качества воды водохранилища являются донные отложения. Дно водоема фиксирует значительное количество поступающих загрязняющих веществ. Для донных отложений, являющихся своеобразной депонирующей средой, характерна способность накапливать химические элементы, а вместе с ними и информацию об экологическом состоянии всей водосборной площади. Темпы и объемы формирования донных отложений, а также уровень загрязненности их слоев различны на всем протяжении существования водного объекта, что и позволяет проследить воздействие изменяющейся техногенной нагрузки на экосистему водохранилища во времени [16].

Загрязняющие вещества, поступающие в водные объекты и являющиеся источниками «первичного загрязнения», способны накапливаться в больших концентрациях в донных отложениях. Под воздействием гидродинамической активности водных масс водоема происходит взмучивание твердых частиц дна, включая загрязнители, их трансседиментация, в как результат данного процесса - «вторичное» загрязнение водного объекта, вызывающее резкое ухудшение качества воды. Наиболее выражен этот процесс на участках водохранилища, которые характеризуются замедленным водообменом. Накопление высоких концентраций ряда токсичных веществ, прежде всего, представляет опасность для гидробионтов, обитающих в придонном слое, и, в конечном счете, для человека, что является важным обстоятельством, обуславливающим необходимость включения донных отложений в состав основных объектов эколого-геохимических исследований.

В Водном кодексе Российской Федерации дно водоемов считается одной из составных частей поверхностных водных объектов. Однако, несмотря на то, что контроль состава донных отложений водных систем является обязательным (в рамках Единой Государственной системы мониторинга за состоянием окружающей среды), в государственные, региональные и объектные программы экологического мониторинга речных систем и промышленных объектов этот вид исследований, как правило, не включается.

Оценка степени воздействия донных отложений на экологическое состояние водных объектов представляет определенные методологические трудности, это связано с тем, что ПДК для донных отложений отсутствуют.

К наиболее опасным загрязняющим веществам относятся соединения тяжелых металлов, отличающиеся максимальной аккумуляционной способностью и высокой токсичностью. Классы веществ, загрязняющих донные отложения, по степени их опасности в соответствии с ГОСТ 17.4.1.02-83, приведено в таблице 8.

Таблица 8 - Классы веществ, загрязняющих донные отложения, по степени их опасности (по ГОСТ 17.4.1.02-83) [16]

| Металлы | Класс опасности | Степень опасности   |
|---------|-----------------|---------------------|
| Hg      | 1               | Чрезвычайно опасные |
| Pb      | 1               | Чрезвычайно опасные |
| Zn      | 1               | Чрезвычайно опасные |
| Cu      | 2               | Умеренно опасные    |
| Ni      | 2               | Умеренно опасные    |
| Mn      | 3               | Мало опасные        |
| Fe      | 3               | Мало опасные        |

В процессе исследований на Красноярском водохранилище в период 2013-2017 гг. в перечень контролируемых показателей донных отложений были включены: водородный показатель (pH), нефтепродукты, ртуть (Hg), свинец (Pb), цинк (Zn), медь (Cu), никель (Ni), марганец (Mn), железо (Fe) (табл. 9).

Количество содержащихся в пробах донных отложений металлов варьировало: Hg от 0,005 до 0,083 мг/кг, Pb – 0-26,2 мг/кг, Zn – 20-169 мг/кг, Cu – 0-31 мг/кг, Ni – 0-30 мг/кг, Mn – 209-1892 мг/кг, Fe 102-3661 мг/кг.

Как известно, поступая в донные отложения, металлы аккумулируются внутренними грунтовыми водами, карбонатами, глинистыми минералами, органическим веществом, сульфидами, компонентами биоты водоема. Металлы слабо подвержены биологической деградации (биоразложению), обладают выраженным кумулятивным эффектом, долгое время сохраняют активность, что в свою очередь приводит к долговременному влиянию на состояние водной среды. Накопление в донных отложениях концентраций тяжелых металлов может создавать серьезную опасность для водной экосистемы, так как при определенных условиях (при понижении pH, при снижении обеспечения кислородом придонных горизонтов водных масс, в застойных зонах, вследствие эвтрофикации) они могут перейти из донных отложений в водную толщу. В процессе накопления донных грунтов в водохранилище постепенно происходит их частичное обезвоживание и разложение большей части органических веществ, которое сопровождается миграцией части тяжелых металлов в поверхностный слой придонных осадков, более обогащенных водой и органикой. При этом выход металлов нередко осуществляется в новых более

Таблица 9 - Содержание загрязняющих веществ в донных отложениях на наблюдаемых пунктах Красноярского водохранилища в 2013-2017 гг.

| Место отбора проб                | Год  | Концентрации загрязняющих веществ, мг/ кг |               |             |               |             |           |           |             |            |
|----------------------------------|------|---|---------------|-------------|---------------|-------------|-----------|-----------|-------------|------------|
|                                  |      | Водородный показатель (рН)                | Нефтепродукты | Железо (Fe) | Марганец (Mn) | Никель (Ni) | Медь (Cu) | Цинк (Zn) | Свинец (Pb) | Ртуть (Hg) |
| Устье р. Биджа (0,1В)            | 2013 | 8,0                                       | 0             | 102         | 209           | -           | 0         | 20        | -           | -          |
|                                  | 2014 | 7,9                                       | 0             | 105         | 312           | -           | 0         | 24        | -           | -          |
|                                  | 2015 | 8,7                                       | 0             | 110         | 246           | -           | 0         | 50        | -           | -          |
|                                  | 2016 | 8,0                                       | 1             | 116         | 252           | -           | 1         | 31        | -           | -          |
|                                  | 2017 | 0,2                                       | 2             | 120         | 230           | -           | 1         | 40        | -           | -          |
| п. Краснотуранск, ниже ОС (0,1В) | 2013 | 8,7                                       | 0             | 229         | 223           | -           | 1         | 24        | -           | -          |
|                                  | 2014 | 7,9                                       | 0             | 206         | 231           | 0           | 2         | 22        | 0           | -          |
|                                  | 2015 | 8,7                                       | 0             | 161         | 296           | 0           | 21        | 24        | 0           | -          |
|                                  | 2016 | 8,3                                       | 5             | 150         | 315           | 30          | 20        | 27        | 10          | -          |
|                                  | 2017 | 8,2                                       | 50            | 120-        | 346           | 30          | 20        | 39        | 12,5        | 0,005      |
| п. Новоселово, ниже ОС (0,1В)    | 2013 | 8,8                                       | 8,4           | 1285        | 348           | -           | 1         | 29        | -           | -          |
|                                  | 2014 | 7,6                                       | 21,3          | 329         | 460           | 0           | 2         | 67        | 0           | -          |
|                                  | 2015 | 7,5                                       | 37,1          | 1157        | 814           | -           | 25        | 80        | -           | -          |
|                                  | 2016 | 9,4                                       | 5             | 430         | 565           | 30          | 20        | 29        | 12          | -          |
|                                  | 2017 | 7,8                                       | 50            | 250         | 419           | 30          | 20        | 47        | 26,2        | 0,009      |
| Предплотинный участок ( 0,1В)    | 2013 | 6,3                                       | 23,5          | 2189        | 416           | 0           | 22        | 69        | 0           | -          |
|                                  | 2014 | 6,9                                       | 12,7          | 1336        | 1001          | 0           | 21        | 65        | 0           | -          |
|                                  | 2015 | 6,7                                       | 9,6           | 1866        | 959           | 0           | 23        | 68        | 0           | -          |
|                                  | 2016 | 7,1                                       | 5,0           | 229         | 769           | 30          | 31        | 125       | 23          | -          |
|                                  | 2017 | 7,5                                       | 50            | 200         | 200           | 30          | 20        | 40        | 10          | 0,029      |
| Предплотинный участок ( 0,5В)    | 2013 | 6,7                                       | 8,2           | 2917        | 1844          | 0           | 30        | 72        | 0           | -          |
|                                  | 2014 | 6,9                                       | 15,2          | 1267        | 1493          | 0           | 22        | 66        | 0           | -          |
|                                  | 2015 | 6,9                                       | 13,7          | 1702        | 1048          | 0           | 25        | 74        | 0           | -          |
|                                  | 2016 | 7,0                                       | 5,0           | 538         | 1676          | 30          | 24        | 79        | 20          | -          |
|                                  | 2017 | 7,3                                       | 65,2          | 230         | 537           | 30          | 20        | 108       | 21,6        | 0,029      |
| Предплотинный участок ( 0,9В)    | 2013 | 6,0                                       | 16,8          | 3661        | 623           | 0           | 29        | 79        | 0           | -          |
|                                  | 2014 | 7,0                                       | 14,3          | 1143        | 1305          | 0           | 23        | 67        | 0           | -          |
|                                  | 2015 | 6,7                                       | 7,1           | 1320        | 1892          | 0           | 25        | 75        | 0           | -          |
|                                  | 2016 | 7,7                                       | 5,9           | 200         | 906           | 30          | 21        | 144       | 24,7        | -          |
|                                  | 2017 | 6,4                                       | 312           | 180         | 408           | 30          | 20        | 169       | 22,9        | 0,083      |

токсичных формах, представляющих собой угрозу для жизнедеятельности биоты водоема и резкого ухудшения качества воды.

По токсикологическим оценкам «стресс-индексов» тяжелые металлы из числа отмеченных в донных отложениях Красноярского водохранилища по убыванию токсичности можно расположить в следующий ряд:  $Hg > Pb > Ni > Zn > Cu > Fe$ . На основе анализа содержания металлов в донных отложениях можно представить ряд убывания концентраций микроэлементов в следующем виде:  $Fe > Mn > Zn > Ni > Cu > Pb > Hg$ .

Анализ изменения содержания металлов в донных отложениях в пунктах наблюдений на Красноярском водохранилище, показал, что в течение всего периода исследований содержание ртути (1 класс опасности) в донных отложениях было зарегистрировано только в 2017 году.

На приведенном рисунке 21 наглядно показана тенденция к увеличению концентраций ртути в донных отложениях по сои водохранилища от створа устье р. Биджа до предплотинного участка. На данном участке концентрации увеличиваются в створе от 0,029 мг/кг (0,1В) до 0,083 мг/кг (0,9В). Очевидно, это обусловлено интенсивностью гидродинамических процессов, являющихся одним из основных факторов пространственного распределения ртути в донных отложениях.

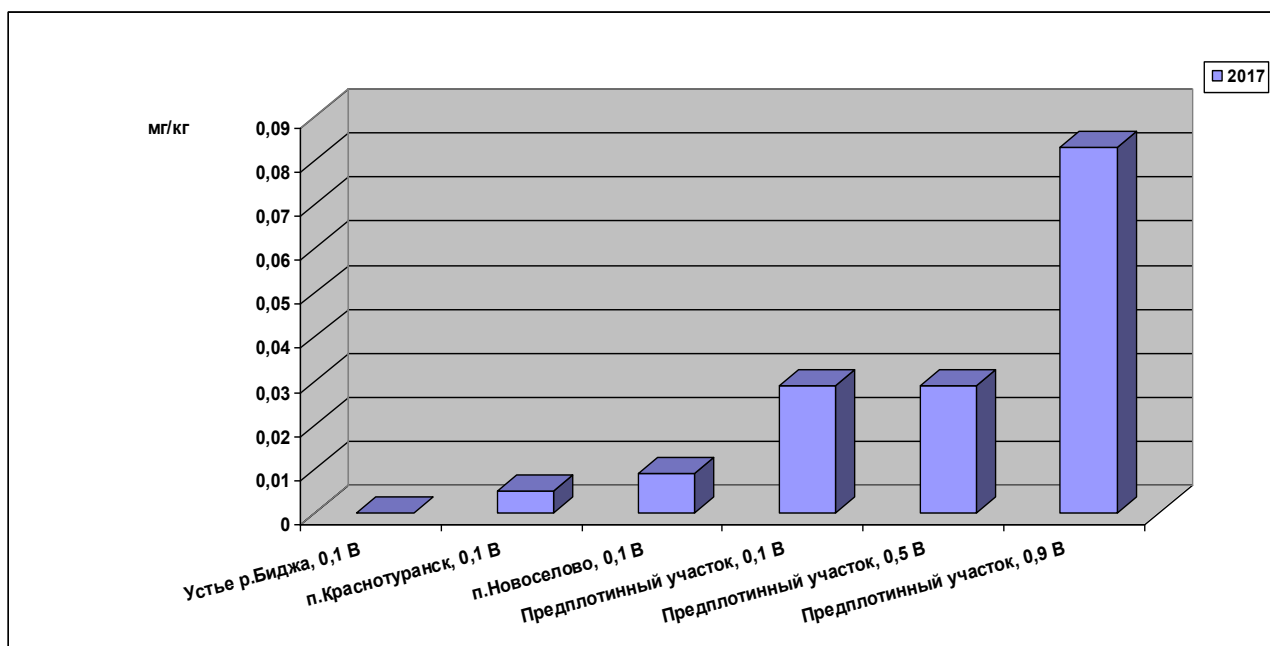


Рисунок 21 - Пространственное распределение ртути в донных отложениях Красноярского водохранилища (2017 г.)

Концентрация свинца (1 класс опасности) в воде изменялась в пределах от 10 мг/кг в районе п. Краснотуранск (в 2016 г.) до 26,2 мг/кг в районе п. Новоселово (в 2017 г.). Пространственно-временная динамика распределения свинца в донных отложениях Красноярского водохранилища показана на рисунке 22.

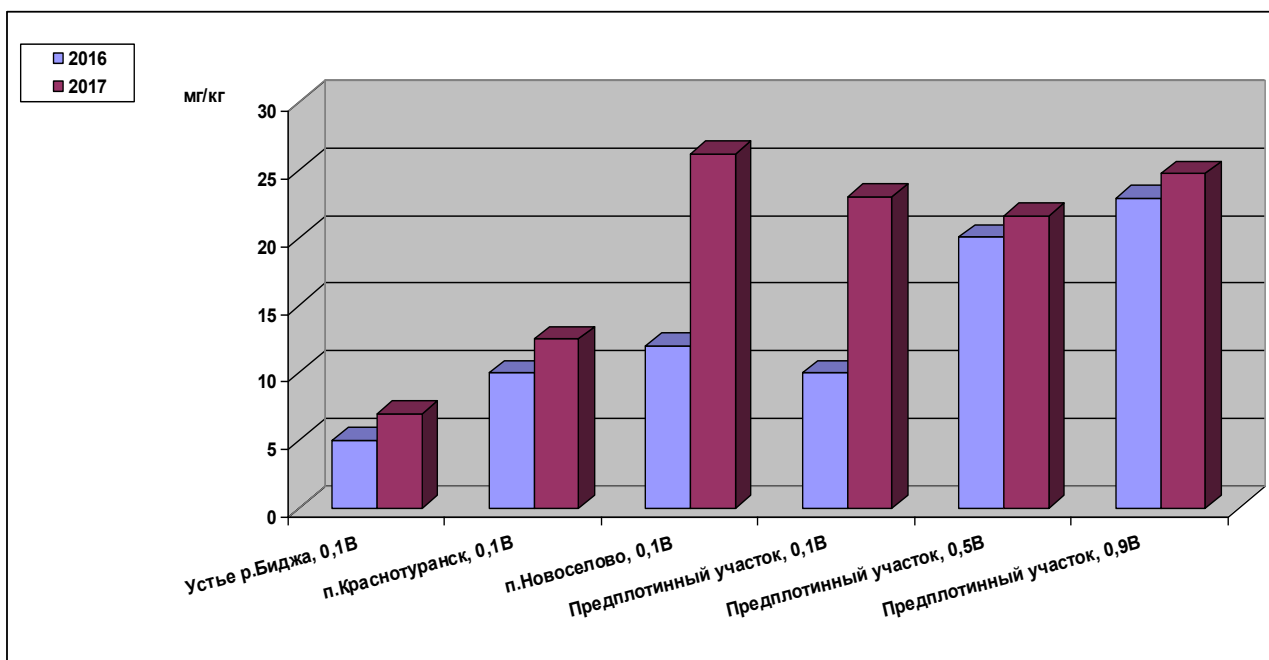


Рисунок 22 - Пространственно-временная динамика распределения свинца в донных отложениях Красноярского водохранилища (2017 г.)

Наибольшие концентрации свинца зарегистрированы в створах зон влияния очистных сооружений п. Краснотуранск и п. Новоселово, т. е. на участках постоянного антропогенного воздействия на состояние воды и донных отложений водохранилища.

Содержание цинка (1 класс опасности) в донных отложениях за исследуемый период варьировало от 20 мг/кг в районе устья р. Биджа в 2013 г. до 169 мг/кг в предплотинном участке (0,9В) в 2017 г., как представлено на рисунке 23.

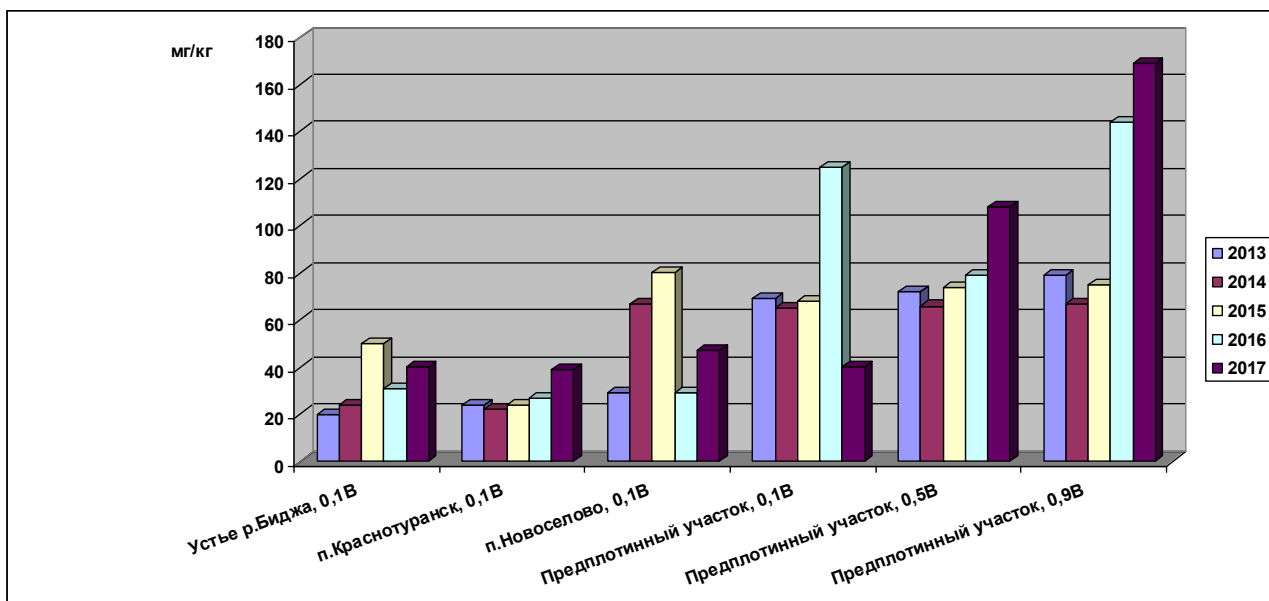


Рисунок 23 - Пространственно-временная динамика распределения цинка в донных отложениях Красноярского водохранилища (2013-2017 гг.)

В характере пространственно-временной динамики концентрации цинка в донных отложения водоема прослеживается определенная тенденция: увеличение его содержания как на протяжении всего периода исследований от 2013 г. к 2017 г., так и по оси водохранилища с максимумом показателей на предплотинном участке. Аналогичная ситуация наблюдается и в другом водохранилище Енисейского каскада - Саяно-Шушенском [26].

Содержание меди (2 класс опасности) в донных отложениях относительно равномерно практически во всех створах водохранилища (за исключение устьевом участка р. Биджа), а также по годам наблюдений, как видно из рисунка 24.

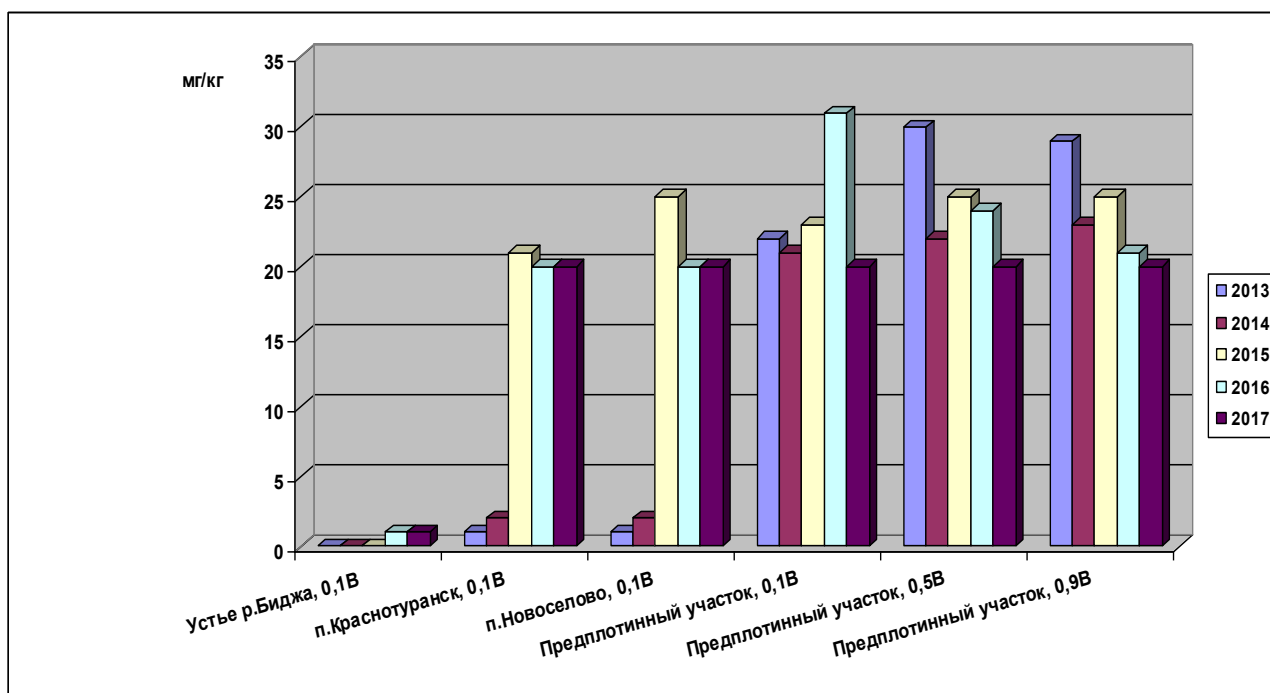


Рисунок 24 - Пространственно-временная динамика распределения меди в донных отложениях Красноярского водохранилища (2013-2017 гг.)

Никель, относящийся ко 2 классу опасности, в Красноярском водохранилище за период наблюдения зафиксирован в концентрации 30 мг/кг лишь в 2016 и 2017 годах в районах п. Краснотуранск (ниже ОС), п. Новоселово (ниже ОС) и на предплотинном участке.

Достаточно высокое содержание марганца (3 класс опасности) в донных отложениях водохранилища, отчасти обусловлено повышенным региональным фоном этого металла. В период наблюдений его концентрации определялись от 209 мг/кг в районе устья р. Биджа в 2013 г. и до 1892 мг/кг на предплотинном участке (0,9В) в 2015 году. Очевидно, повышение концентраций марганца к предплотинному участку, хотя явной аккумуляции его на данном временном отрезке не прослеживается, как это видно на рисунке 25.

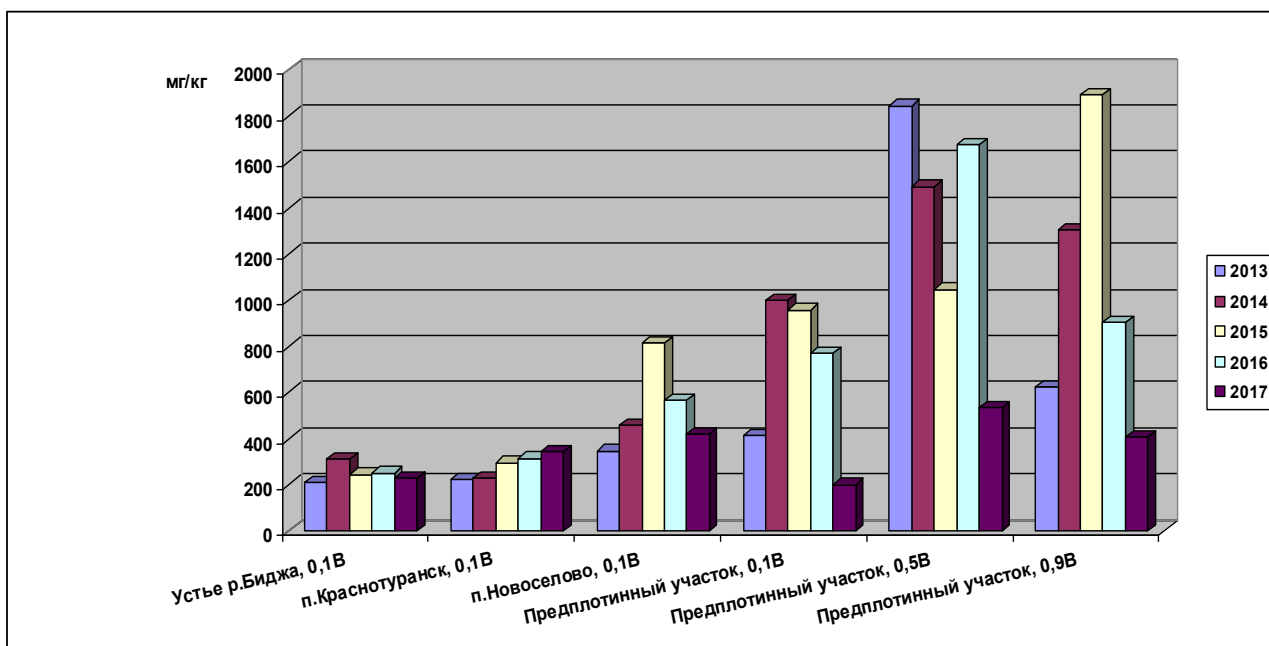


Рисунок 25 - Пространственно-временная динамика распределения марганца в донных отложениях Красноярского водохранилища (2013-2017 гг.)

Заметна тенденция увеличения содержания железа (3 класс опасности) в донных отложениях по оси водохранилища от устья р. Биджы к предплотинному участку, но в последние годы концентрация его снижается, как видно из рисунка 26. Это происходит в результате снижения содержания железа в сточных водах, поступающих в водохранилище с очистных сооружений п. Краснотуранск и п. Новоселово, согласно данным статистического отчета 2-ТП (Водхоз) [21].

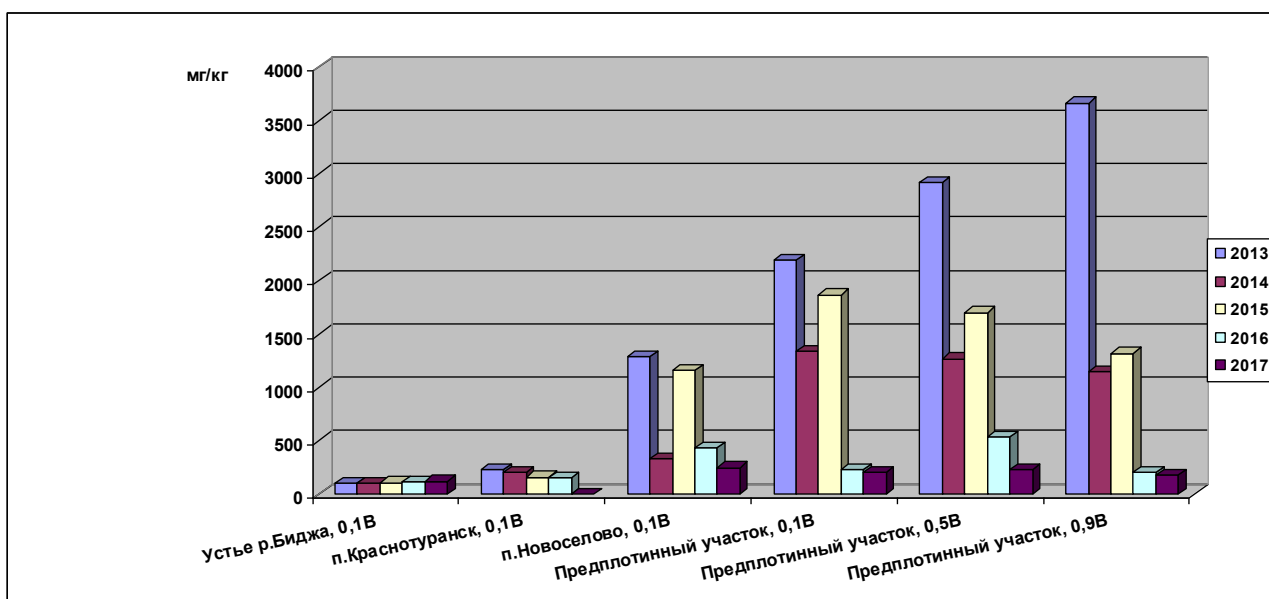


Рисунок 26 - Пространственно-временная динамика распределения железа в донных отложениях Красноярского водохранилища (2013-2017 гг.)



В целом в характере распределения тяжелых металлов в донных отложениях по акватории Красноярского водохранилища отмечена определенная тенденция: увеличение их содержания от устья р. Биджа до предплотинного участка. Наблюдается ряд закономерностей, обусловленных гетерогенностью определяющих факторов, таких как гидродинамическая активность водных масс водохранилища. Наиболее низкие концентрации зарегистрированы в зоне влияния притока (устье р. Биджи), этому способствует слабое антропогенное воздействие, ветро-волновая активность водных масс, препятствующая образованию органических илов на данном участке.

При изучении особенностей распределения тяжелых металлов в донных отложениях водохранилища, необходимо также учитывать, еще один факт - многие земельные участки, затопленные при создании Красноярского водохранилища, еще до его образования подвергались антропогенной нагрузке, и возможно, в той или иной степени были загрязнены тяжелыми металлами.

Нефтепродукты являются важным составляющим органического загрязнения большинства водоемов - они склонны к накоплению в донных отложениях благодаря их высокой сорбционной способности, особенностям фракционирования при попадании в водный объект, биохимической устойчивости и аккумуляции гидробионтами с последующим разложением последних на дне водохранилища. При определенных условиях часть нефтепродуктов может переходить в водную толщу, вновь вызывая ее загрязнение. Аккумулируя загрязняющие вещества, донные отложения способствуют самоочищению водных сред, но являются постоянным источником их «вторичного» загрязнения [16].

Концентрации нефтепродуктов в донных отложениях Красноярского водохранилища изменялась в диапазоне от 1 мг/кг в районе устья р. Биджа в 2016 году до 65,2 мг/кг на предплотинном участке (0,5В) в 2017 году (рис. 27).

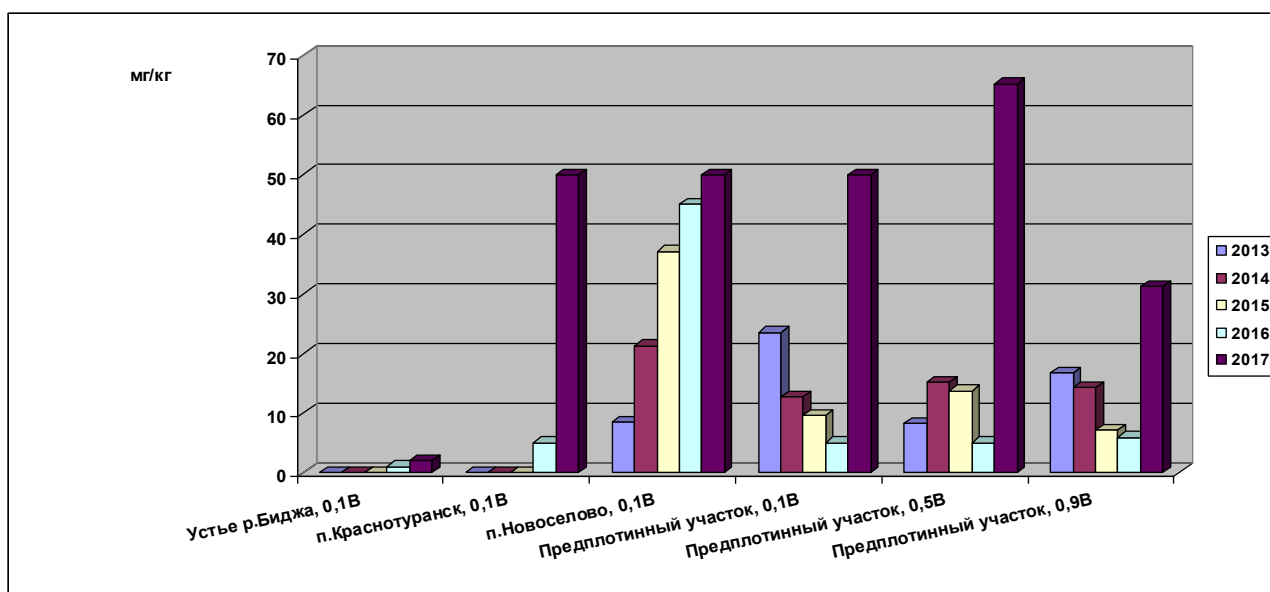


Рисунок 27 - Пространственно-временная динамика распределения нефтепродуктов в донных отложениях водохранилища (2013-2017 гг.)

Как показали исследования за годы функционирования Красноярского водохранилища его берега и ложе, и экосистема в целом, претерпели ряд существенных изменений, возникли серьезные проблемы, влияющие на экологическое состояние и функциональное значение данного водного объекта. Использование водохранилища в качестве источника питьевого водоснабжения и в целях интересов рыбного хозяйства определяет особые требования, как к качеству воды, так и к состоянию донных отложений водоема. В связи с этим необходимы ежегодные регулярные комплексные исследования и контроль химического состояния донных отложений, последние из которых, представляя совместно с водной средой достаточно сложные многокомпонентные системы (где происходят важнейшие процессы: седиментация, адсорбция, соосаждение, гидролиз), являются важным звеном экосистемы Красноярского водохранилища.

## **6 Оценка качества поверхностных вод и донных отложений Красноярского водохранилища**

### **6.1 Оценка качества поверхностных вод**

Водохранилища являются водными объектами, в преобразовании которых значительная роль принадлежит техногенным факторам, что наглядно проявляется в процессе эксплуатации данных водоемов, создание которых направлено на развитие промышленности, в том числе отраслей с большим объемом водопотребления. Воздействие техногенных факторов определяет нарушение состояния природного комплекса водохранилищ, вызывает изменение химического состава воды, и как следствие влияет на условия жизни водной биоты, создает сложности в качественном водоснабжении, способствует изменению подземных вод. В результате изменяется качество воды, именно поэтому необходимо выявление основных причин и закономерностей данного процесса для уменьшения негативного влияния техногенных факторов на состав воды. С этой же целью осуществляются исследование и оценка гидрохимического состояния воды водохранилищ.

В период исследований оценка гидрохимического состояния поверхностных вод Красноярского водохранилища проводилась методом комплексной оценки качества (степени загрязненности) поверхностных вод по гидрохимическим показателям УКИЗВ (удельный комбинаторный индекс загрязненности воды).

Удельный комбинаторный индекс загрязнения воды был рассчитан автором с использованием программы АИС ГМВО в соответствии с РД 52.24.643-2002, разработанным гидрохимическим институтом (ГХИ) Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) [40]. Одной из важных характеристик для оценки степени загрязненности воды является кратность превышения ПДК, т. к. она учитывается при расчете УКИЗВ, ее расчет был также произведен программой АИС ГМВО, результаты представлены в таблице 9.

В ходе проведенных исследований было установлено, что основными загрязняющими веществами, по которым выявлено превышение  $\text{ПДК}_{\text{рыбхоз}}$  для Красноярского водохранилища являются металлы: железо, медь, марганец, цинк. Наиболее часто превышающими  $\text{ПДК}_{\text{рыбхоз}}$  химическими веществами, содержащимися в воде Красноярского водохранилища являются медь (3 класс опасности) и железо (4 класс опасности), согласно Перечню рыбохозяйственных нормативов вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное назначение.

В соответствии с уровнем кратности превышения  $\text{ПДК}_{\text{рыбхоз}}$  по меди и железу качество воды водохранилища определяется как «средний», за исключение участка в зоне влияния ОС у п. Краснотуранск, где отмечен «высокий» уровень загрязненности поверхностных вод по железу и меди (табл. 10).

Таблица 10 - Характеристика уровня загрязнения поверхностных вод Красноярского водохранилища по кратности превышения ПДК<sub>рыбхоз.</sub>

| Пункт наблюдения                     | Характерное загрязнение | Коэффициент превышения ПДК/<br>характеристика уровня<br>загрязненности по кратности<br>превышения ПДК | Неустойчивое<br>загрязнение | Коэффициент превышения ПДК/<br>характеристика уровня<br>загрязненности по кратности<br>превышения ПДК |
|--------------------------------------|-------------------------|---|-----------------------------|---|
| Устье р. Биджа                       | Медь                    | 2,11 / средний  | Цинк                        | 1,45 / средний  |
|                                      | Железо                  | 2,94 / средний  | ХПК                         | 1,21 / низкий   |
| п. Краснотуранск, выше ОС            | Медь                    | 2,02 / средний  | -                           | -   |
|                                      | Железо                  | 2,05 /средний   | ХПК                         | 1,07 / низкий   |
| п. Краснотуранск, зона влияния<br>ОС | Медь                    | 3,56 / высокий  | -                           | -   |
|                                      | Железо                  | 4,12 / высокий  | БПК                         | 1,67 / средний  |
| п. Краснотуранск, ниже ОС            | Медь                    | 2,01 / средний  | ХПК                         | 1,02 / низкий   |
|                                      | Железо                  | 2,04 / средний  | НФПР                        | 1,32 / низкий   |
|                                      | Цинк                    | 2,04 / средний  | -                           | -   |
| Новоселовский плес, 2670 км          | Медь                    | 1,39 / низкий   | -                           | -   |
|                                      | Марганец                | 2,04 / средний  | -                           | -   |
| п. Новоселово, 2669 км               | Медь                    | 2,07 / средний  | ХПК                         | 1,83 / средний  |
|                                      | Железо                  | 2,05 / средний  | -                           | -   |
| Предплотинный участок, 2503 км       | -                       | -   | НФПР                        | 1,34 / низкий   |

На Новоселовском плесе качество воды водоема по ионам марганца оценивается на уровне «средний».

Загрязненность по ХПК, БПК, а также нефтепродуктам практически на всех исследуемых участках определяется в соответствии с уровнем «низкий», исключение составляют точки наблюдений у п. Краснотуранск в зона влияния ОС (коэффициент превышения ПДК<sub>рыбхоз.</sub> по БПК - 1,67; «средний» уровень загрязнения воды) и у п. Новоселово (коэффициент превышения ПДК по ХПК - 1,83; «средний» уровень загрязнения воды).

Определение класса загрязненности воды проводилось в соответствии с классификацией загрязненности воды по значению УКИЗВ в соответствии с РД 52.24.643-2002 (табл. 11).

Таблица 11 - Классификация загрязненности воды по УКИЗВ [12]

| Класс и разряд | Характеристика состояния загрязненности воды | УКИЗВ      |
|----------------|--|------------|
| 1-й            | условно чистая                               | 1          |
| 2-й            | слабозагрязненная                            | 1-2        |
| 3-й            | загрязненная                                 | 2-4        |
| разряд «а»     | загрязненная                                 | 2-3        |
| разряд «б»     | очень загрязненная                           | 3-4        |
| 4-й            | грязная                                      | 4-11       |
| разряд «а»     | грязная                                      | 4-6        |
| разряд «б»     | грязная                                      | 6-8        |
| разряд «в»     | очень грязная                                | 8-10       |
| разряд «г»     | очень грязная                                | 10-11      |
| 5-й            | экстремально грязная                         | 11 и более |

В результате проведенных исследований на участках наблюдений было установлено, что качество воды акватории Красноярского водохранилища в период 2013-2017 гг., согласно данной классификации, оценивалось в пределах от 1 класса (вода «условно чистая») до 3 класса, разряд «б» (вода «очень загрязненная»).

Ниже на рисунке 28 наглядно показана пространственно-временная динамика загрязнения поверхностных вод (по УКИЗВ) на исследуемых участках водохранилища за период с 2013 по 2017 гг.

Из диаграммы, представленной на рисунке 28, видно насколько сильное антропогенное влияние оказывают на степень загрязненности поверхностных вод очистные сооружения п. Краснотуранск, сбрасывающие недостаточно очищенные сточные воды непосредственно в водохранилище. Показатель УКИЗВ водного объекта в зоне влияния ОС в период 2014-2017 гг. варьирует от 3,5 до 3,9, что позволяет оценить качество воды на уровне 3 класса, разряда «б» (вода «очень загрязненная»). Неблагоприятная ситуация характерна и для участка у п. Краснотуранск, ниже ОС, где сохраняется влияние сточных вод.

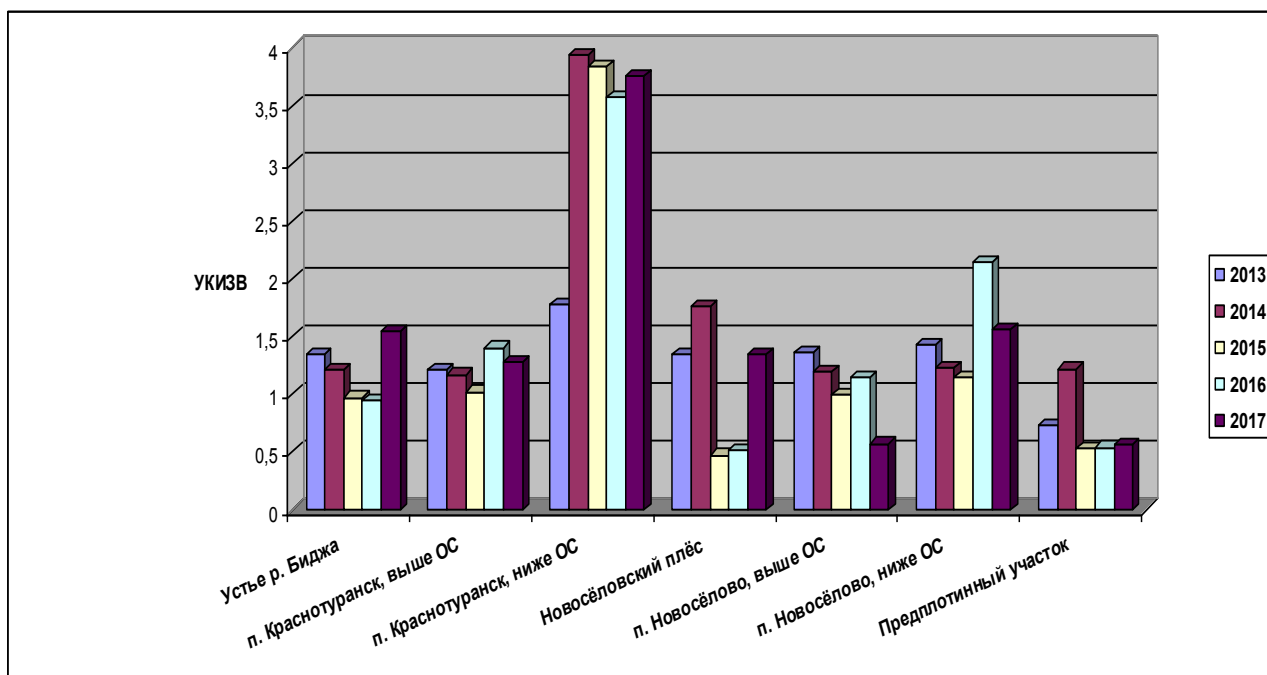


Рисунок 28 – Пространственно-временная динамика загрязнения поверхностных вод по УКИЗВ на исследуемых участках Красноярского водохранилища (2013-2017 гг.)

По результатам исследований наиболее низкий уровень загрязненности воды (1 класс, вода «условно чистая») по УКИЗВ (менее 1) отмечен на предплотинном участке водохранилища в 2013 г. и 2015-2017 гг. (см. рис. 28, приложение Д).

Анализ гидрохимического состояния воды Красноярского водохранилища показал, что качество воды, оцененное по гидрохимическим показателям, в целом согласуется с данными биологического анализа качества вод по показателям планктонных и бентосных сообществ, играющих также важную индикаторную роль в диагностике состояния водных экосистем.

Следует отметить, что с учетом размера Красноярского водохранилища, объемов запасов воды в данном водном объекте, а также большой степени антропогенной нагрузки на водную экосистему, существующим количеством постов наблюдений (и створов) по всей акватории водоема невозможно обеспечить достаточно репрезентативную информацию о гидрохимическом состоянии воды водохранилища.

## 6.2 Качественный анализ донных отложений водного объекта

Оценка степени загрязнения донных отложений и их воздействия на экологическое состояние водных объектов представляет определенные методологические трудности, это связано с тем, что ПДК для донных отложений отсутствуют.

В России делаются единичные попытки разработки региональных нормативов содержания загрязнений в донных отложениях. В данной работе были использованы нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга согласно «Региональному нормативу», разработанному в рамках российско-голландского сотрудничества по программе PSO 95/RF/3/1, которые представлены в таблице 12.

Таблица 12 - Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах [50]

| Загрязняющее вещество | Целевой уровень | Предельный уровень | Проверочный уровень | Уровень, требующий вмешательства |
|-----------------------|-----------------|--------------------|---------------------|----------------------------------|
| Кадмий (Cd)           | 0,8             | 2                  | 7,5                 | 12                               |
| Ртуть (Hg)            | 0,3             | 0,5                | 1,6                 | 10                               |
| Медь (Cu)             | 35              | 35                 | 90                  | 190                              |
| Никель (Ni)           | 35              | 35                 | 45                  | 210                              |
| Свинец (Pb)           | 85              | 530                | 530                 | 530                              |
| Цинк (Zn)             | 140             | 480                | 720                 | 720                              |
| Хром (Cr)             | 100             | 380                | 380                 | 380                              |
| Нефтепродукты         | 180             | 1000               | 3000                | 5000                             |

В соответствии с приведенными критериями оценки, донные отложения считаются чистыми, если концентрация загрязняющих веществ ниже целевого уровня. Если же концентрации загрязняющих веществ доходят до предельного уровня, то донные отложения представляют максимально приемлемый риск, для здоровья людей и для природной среды. В случае, когда концентрации загрязняющих веществ находятся на границе между целевым и предельным уровнями, донные отложения считаются слабо загрязненными.

В результате проведенных исследований установлено, что такие тяжелые металлы, как ртуть, свинец и цинк, относящиеся к I классу опасности, имеют общую тенденцию к увеличению их концентрации в донных отложениях вдоль оси водохранилища по направлению к предплотинному участку, а также к депонированию их в течение всего периода наблюдений.

За период исследований отмечено, что концентрации свинца находятся ниже целевого уровня, т. е. донные отложения соответствуют классу «чистые».



Содержание ртути и цинка в донных отложениях определяется в диапазоне между целевым и предельным уровнем, т. е. донные отложения принадлежат к классу «слабо загрязненные».

Концентрация меди, относящейся ко II классу опасности, в донных отложениях равномерно определялась по всей акватории Красноярского водохранилища, согласно приведенной выше классификации, донные отложения оцениваются в пределах класса «чистые».

Содержание никеля (II класс опасности) определялось в донных отложениях в зоне влияния очистных сооружений п. Краснотуранск и п. Новоселово, и находилось в диапазоне между «Проверочным уровнем» и «Уровнем, требующем вмешательства», что говорит о том, что донные отложения на исследуемом участке представляют максимально приемлемый риск, для здоровья людей и для природы.

Железо и марганец относятся к III классу опасности. Концентрация железа в донных отложениях водохранилища в начале периода наблюдений достигала относительно высоких показателей. Начиная с 2016 г. ситуация изменилась в лучшую сторону, что связано с резким снижением (в 5 раз) содержания железа в сточных водах, поступающих с очистных сооружений п. Краснотуранск, и уменьшением в 2 раза концентрации железа в водах ОС п. Новоселово, согласно данных 2-ТП (Водхоз) [20].

Высокие концентрации марганца и железа в донных отложениях Красноярского водохранилища обусловлены, как повышенным региональным фоном этих металлов [14], так и антропогенным влиянием сточных вод очистных сооружений п. Краснотуранск и п. Новоселово. Наблюдается повышение концентраций марганца к предплотинному участку, хотя явной аккумуляции его на данном временном отрезке не прослеживается.

Уровень загрязнения донных отложений Красноярского водохранилища нефтепродуктами находится ниже «Целевого», что соответствует классу «чистые», однако прослеживается негативная тенденция к постепенному накоплению их в донных отложениях от года к году.

Результаты исследований гидрохимического состояния воды и химического состояния донных отложений Красноярского водохранилища, проведенных на акватории Красноярского водохранилища, переданы Росприроднадзору, как органу, осуществляющему контрольные функции за предприятиями водопользователями, потенциально являющимися загрязнителями поверхностных вод водохранилищ.

На основе проанализированного материала предложены следующие рекомендации.

Изучение экосистемы Красноярского водохранилища должно быть направлено на расширение спектра определяемых загрязняющих веществ, их идентификацию с применением высокоэффективных методов, выявление характера их происхождения (природного, антропогенного), изучение

особенностей процессов распределения химических соединений между всеми компонентами водной экосистемы и механизмов их трансформации.

Целесообразно расширить программу мониторинга (включить в план экспедиционные обследования на реках - притоках водохранилища) и сеть пунктов наблюдения за изменением показателей состояния водоема, в первую очередь, донных отложений, т. к. характер их накопления и распределения, их химический состав отражают весь комплекс процессов, протекающих в водоеме.

Важным направлениями в области дальнейших научных исследований, совершенствования системы мониторинга водохранилища должны стать: объединение результатов наблюдений, выполняемых различными научными организациями и управлениями постоянно или эпизодически, в единую информационную систему; интегральная оценка пространственно-временной изменчивости гидрохимических характеристик воды и донных отложений водоема в совокупности с гидрологическими и гидробиологическими характеристиками.

## ВЫВОДЫ

1. На основе данных исследований поверхностных вод Красноярского водохранилища в период 2013-2017 гг. установлено, что основными загрязняющими веществами воды Красноярского водохранилища, по которым выявлено превышение ПДК<sub>рх</sub>, являются тяжелые металлы: железо, медь, марганец, цинк.

2. Согласно показателям УКИЗВ качество воды водохранилища по гидрохимическим показателям оценивается в пределах от 1 класса - вода «условно чистая» до 3 класса, разряд «б» - вода «очень загрязненная». Наибольшее влияние на степень загрязненности поверхностных вод оказывают очистные сооружения поселков Краснотуранск и Новоселово, сбрасывающие недостаточно очищенные сточные воды непосредственно в водохранилище.

3. Оценка степени загрязнения донных отложений и их воздействия на экологическое состояние водных объектов представляет определенные методологические трудности, связанные с отсутствием ПДК для донных отложений. Загрязнение донных отложений Красноярского водохранилища не является критичным. Согласно Региональному нормативу загрязнение донных отложений в исследуемом водном объекте соответствует классам «чистые» - «слабо загрязненные».

4. В характере пространственно-временной динамики концентраций загрязняющих веществ в донных отложениях Красноярского водохранилища выявлена общая тенденция: увеличение содержания загрязнителей по оси водоема от устья р. Биджи к предплотинному участку. Основными загрязняющими веществами донных отложений являются тяжелые металлы: ртуть, цинк, марганец, железо, содержание которых в донных отложениях обусловлено, как их повышенным региональным фоном, так и антропогенным влиянием сточных вод очистных сооружений п. Краснотуранск и п. Новоселово.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

В настоящей магистерской диссертации применяют следующие сокращения и обозначения с соответствующими расшифровкой и пояснениями:

|   |  |
|---|--|
| СибНИИЭ –   | Сибирский научно-исследовательский институт энергетики   |
| СибрыбНИИпроект –   | Сибирский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт рыбного хозяйства (с 2003 г. Госрыбцентр)                 |
| КГМС –  | Красноярское управление Гидрометеослужбы   |
| ФГБНУ «НИИЭРВ»  | Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт экологии рыбохозяйственных водоемов» |
| КГУ –   | Красноярский государственный университет   |
| Енисейское БВУ –  | Енисейское бассейновое водное управление Федерального агентства водных ресурсов (Росводресурсы)                                  |
| ФГУ «Енисейрегионводхоз» –                                  | Федеральное государственное бюджетное учреждение «Енисейрегионводхоз»  |
| ФГУ «Управление эксплуатации Красноярского водохранилища» – | Федеральное государственное учреждение «Управление эксплуатации Красноярского водохранилища»                                     |
| ФГУ «Енисейрегионводхоз» –                                  | Федеральное государственное учреждение «Енисейрегионводхоз»  |
| ГХЛ ФГУ «Енисейрегионводхоз» –                              | Гидрохимическая лаборатория Федерального государственного бюджетного учреждения «Енисейрегионводхоз»                             |
| Росаккредитация –   | Федеральной службой по аккредитации  |
| НПУ –   | Нормальный подпорный уровень   |
| УМО –   | Уровень мертвого объема  |
| ОС –  | Очистные сооружения  |
| ПДК –   | Предельно-допустимая концентрация  |

|  |  |
|--|--|
| БПК <sub>5</sub> –                         | Биохимическое потребление кислорода (ушедшее за 5 суток на окисление загрязняющих веществ) |
| БПК <sub>20</sub> (БПК <sub>полн</sub> ) – | Полное биохимическое потребление кислорода (достигается за 20 суток)                       |
| ХПК –                                      | Химическое потребление кислорода   |
| НФПР –                                     | Нефтепродукты  |
| ВОВ –                                      | Взвешенное органическое вещество   |
| УКИЗВ –                                    | Удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды  |

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Авакян, А. Б. Водохранилища : учебное пособие / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов. – Москва : Мысль, 1987. – 326 с.
2. Бабкина, И. В. Особенности проектирования подготовки под затопление ложа водохранилищ ГЭС Сибири. – Красноярск : СибГТУ, 2001.
3. Барабанова, Е. А. Сравнительная геоэкологическая оценка водохранилищ гидроэлектростанций : автореф. дис. по ВАК, канд. географ. наук : 25.00.27 / Барабанова Елена Алексеевна. – Москва, 2001. – 289 с.
4. Безруков, Л. А. Социально-экономические и экологические последствия сооружения ГЭС : учебное пособие / Л. А. Безруков, Л. М. Коротыный. – Наука, 2007. – 185 с.
5. Боголюбов, С. А. Экология и экологический мониторинг : учебное пособие / С. А. Боголюбов. – Москва : Знание, 1999. – 300 с.
6. Богославский, Б. Б. Общая гидрология : учебное пособие / Б. Б. Богославский, А. А. Самохин, и др.. – Ленинград : Высш. шк, 1984. – 280 с.
7. Васильев, О. Ф. Экологическое состояние Новосибирского водохранилища / О. Ф. Васильев, В. М. Савкин, С. Я. Двуреченская, С. Я. Тарасенко, П. А. Попов, А. Ш. Хабидов // Сибирский экологический журнал. – 2000. – № 2. – С. 149-163.
8. Веселовский, Н. В. О гидрохимической изученности крупных речных бассейнов / Н. В. Веселовский, В. С. Путинцева, Р. К. Манихина // Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда / Т. 9. Качество вод и научные основы их охраны. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1976. – С. 124-127.
9. Водный кодекс Российской Федерации (с изм. на 4.12.2006г.) от 3.06.2006 г. №74-ФЗ. – 2006. – 150 с.
10. Вышегородцев, А. А. Красноярское водохранилище : учебное пособие / А. А. Вышегородцев, И. В. Ануфриева, О. А. Кузнецова. – Новосибирск: Наука, 2005. – 212 с.
11. Гидрологическая изученность бассейна реки Енисей. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1983. – 380 с.
12. Гидрохимические показатели окружающей среды: справочные материалы / ред. Гусева, Т. В. – Москва : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. – 192 с. – ISBN 978-5-91134-080-3. – ISBN 978-5-16-002933-7. – 2007. – 147 с.
13. Гольд, З. Г. Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество вод : монография / З. Г. Гольд. – СФУ, Красноярск, 2008. – 537 с.
14. Государственный доклад Министерства природных ресурсов Красноярского края «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2015 год». – Красноярск, 2016. – 217 с.
15. Гусева, Т. В. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды : справочные материалы / Т. В. Гусева, Я. П. Молчанова, Е. А. Заика. – Москва : Эколайн. – 1999. – 156 с.

16. Денисова, А. И. Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды / А. И. Денисова, Е. П. Нахшина, Б. И. Новиков и др. – Киев : Наукова думка, 1987. – 16 с.
17. Дряхлов, А. Г. Влияние геотехнических систем на окружающую среду в условиях многолетней мерзлоты : на примере Колымского водохранилища : дис. канд. географ. наук : 25.00.23 / Дряхлов Александр Григорьевич. – Владивосток, 2004. – 181 с.
18. Ежегодник качества поверхностных вод РФ - Гидрохимический институт. – Краснодар, 2016. – 123 с.
19. Ежегодник качества поверхностных вод ФГБУ «Среднесибирского УГМС» за 2015 год. – Красноярск, 2016. – 115 с.
20. Ежегодный информационный бюллетень Енисейского бассейнового водного управления о состоянии водных объектов бассейна р. Енисей за 2015 год. – Красноярск, 2016. – 159 с.
21. Ежегодный информационный бюллетень ФГБУ «Енисейрегионводхоз» о состоянии водных объектов бассейна р. Енисей за 2015 год. – Красноярск, 2016. – 119 с.
22. Жукинский, В. Н. Методологические основы экологической классификации качества поверхностных вод суши / В. Н. Жукинский, О. Н. Оксик // Гидробиологический журнал. – 1983. Т. 19, № 2. – С. 59-67.
23. Иофин, З. К. Мировой водный баланс, водные ресурсы Земли, водный кадастр и мониторинг : учебное пособие / З. К. Иофин. – Вологда : ВоГТУ, 2009. – 141 с.
24. Исянов, Л. М. Оценка воздействия на окружающую среду. Часть 1. Оценка воздействия источников на атмосферный воздух : учебное пособие / Л. М. Исянов, А. В. Левин. – Санкт-Петербург : Петербургский гос. технолог. ун-т растительных полимеров, 2011. – 74 с.
25. Казмирук, Т. Н., Казмирук, В.Д. Современные проблемы качества воды и донных отложений Иваньковского водохранилища как источника питьевого водоснабжения / Т. Н. Казмирук, В. Д. Казмирук // Вісник національного університету водного господарства та природокористування. Рівне. – 2009. – С. 175-180.
26. Кальная, О. И. Некоторые экологические аспекты функционирования озеровидной части Саяно-Шушенского водохранилища / О. И. Кальная, О. Д. Аюнова // Экосистемы Центральной Азии: исследования, проблемы охраны и природопользования: Материалы IX Убсунурского Междунар. симп. – Кызыл, 2008. – С. 323–325.
27. Корпачев, В. П. Влияние водохранилищ ГЭС Ангара - Енисейского региона на окружающую природную среду / В. П. Корпачев // Вестник КрасГАУ. – 2005. – № 8. – С. 90-96.
28. Корытный, Л. М. Водные ресурсы Ангара-Енисейского района : учебное пособие / Л. М. Корытный, Л. А. Безруков. – Новосибирск : Наука, 1990. – 163 с.



29. Космаков, И. В. Термический режим Красноярского водохранилища, Новосибирск : Наука, 1982. – 164 с.
30. Коцюк, Д. В. Формирование ихтиофауны Зейского водохранилища : дис. канд. биол. наук : 03.00.10 / Коцюк Денис Владимирович. – Хабаровск, 2009. – 162 с.
31. Кузнецова, О. А. Распределение биоценозов донных сообществ по грунтам глубоководного Красноярского водохранилища (по многолетним рядам, 1978-1997 гг.) / О. А. Кузнецова, З. Г. Гольд // Сибирский экологический журнал. – 2002. – № 2. – С. 165-172.
32. Кузнецова, О. А. Структурно-функциональная организация зообентоса Красноярского водохранилища (1978-1997 гг.) : дисс. канд. биол. наук : 03. 00. 18 / Кузнецова Ольга Анатольевна. – Красноярск, 2000. – 167 с.
33. Кузнецова, О. А. Сукцессии видового состава донных биоценозов Красноярского водохранилища / О. А. Кузнецова // Сохранение биологического разнообразия Енисейской Сибири: материалы межрегиональной. науч. конф. – Красноярск, КГУ, 2000. – С. 90-95.
34. Кузнецова, О. А. Сукцессии донных биоценозов Красноярского водохранилища / О. А. Кузнецова // Материалы Юбилейной конференции, посвященной 115-летию Красноярского краевого отделения Русского географического общества. – Красноярск, СФУ. – 2016. – С. 55-58.
35. Кузнецова, О. А. Сукцессионные изменения донных сообществ глубоководного Красноярского водохранилища / О. А. Кузнецова // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 9. – С. 99-103.
36. Кузнецова, О. А. Хорология донных сообществ глубоководного водохранилища / О. А. Кузнецова // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 2. – С. 5-54.
37. Кузнецова, О. А. Эколого-биологическая характеристика структурообразующих видов донных биоценозов Красноярского водохранилища / О. А. Кузнецова // Сборник статей IX международной научно-практической конференции «EurasiaScience» (Москва, 31 мая 2017 г.). – Москва : «Научно-издательский центр «Актуальность.РФ». – 2017. – Ч.1. – С. 27-30.
38. Кузьмин, И. А. Русловые процессы и их изменение под воздействием гидротехнических сооружений / И. А. Кузьмин // Труды Гидропроекта. – 1973. – №30. – С. 6-14.
39. Линник, П. Н. Формы миграции металлов в пресных водах : учебное пособие / П. Н. Линник, Б. И. Набиванец. – Ленинград : Гидрометеиздат. – 1986. – 286 с.
40. Матвеев, А. Н. Оценка воздействия на окружающую среду : учебное пособие / А. Н. Матвеев, В. П. Самусенок, А. Л. Юрьев. – Иркутск : Иркут. гос. ун. – 2007. – 179 с.
41. Мизандронцев, И. Б. Химические процессы в донных отложениях водоемов : учебное пособие / И. Б. Мизандронцев. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд. – 1990. – 86 с.
42. Мур, Дж. В. Тяжёлые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния / Дж. В. Мур, С. П. Рамамурти. – Москва : Мир. – 1987. – 285 с.

43. Наставления гидрометеостанциям и постам. Гидрометрические наблюдения на озерах и водохранилищах. – Ленинград, 1973. – №7. – Ч 1. – 190 с.
44. Неустроева, М. В. Геоэкологический мониторинг: учебное пособие / М. В. Неустроева. – Красноярск : КГПУ им В.П. Астафьева, 2014. – 402 с.
45. Неустроева, М. В. Оценка экологического состояния природно-территориальных комплексов (ПТК) : мониторинг, оценка качества компонентов окружающей среды : учебно-методическое пособие / М. В. Неустроева. – Красноярск : КГПУ им. В. П. Астафьева, 2005. – 371 с.
46. Петин А. Н. Анализ и оценка качества поверхностных вод: учебное пособие / А. Н. Петин, М. Г. Лебедева, О. В. Крымская. – Белгород : БелГУ, 2006. – 256 с.
47. Петров, К. М. Общая экология: Взаимодействие общества и природы: учебное пособие для вузов / К. М. Петров. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Химия, 1998. – 352 с.
48. Пехович А. И. Основы гидроледотермики: научное издание / А. И. Пехович. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 200 с.
49. Путинцева В. С., Манихина Р. К. и др. // Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда / Т. 9. Качество вод и научные основы их охраны. Ленинград : Гидрометеиздат, 1976. – С. 179-183.
50. Региональный норматив: Нормы и критерии оценки загрязнённости донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга, 1996. – 147 с.
51. Салаватов, К. Н. Исследование состояния донных сообществ Красноярского водохранилища / К. Н. Салаватов, И. И. Пякшина // Устойчивое развитие: региональные аспекты. – Брест, 2018. – С. 47-50.
52. СанПиН 2.1.5.980-00 Гигиенические требования к охране поверхностных вод. – Минздрав РФ, 2000. – 190 с.
53. СанПиН 4630-88 «Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения». – Минздрав РФ, 2000. – 189 с.
54. Сапожников, В. А. Экосистема Красноярского водохранилища : учебное пособие / В. А. Сапожников, З. Г. Гольд. – Красноярск, 2005. – 165 с.
55. Селезнева, М. В. Оценка современного экологического состояния Новосибирского водохранилища по структурно-функциональным показателям сообщества макрозообентоса : дисс. канд. биол. наук : 03.00.16, 03.00.18 / Селезнева Мария Васильевна. – Новосибирск, 2005. – 160 с.
56. Скалкин, Ф. В. Энергетика и окружающая среда : учебное пособие / Ф. В. Скалкин. – Ленинград : Энергоиздат, 1981. – 280 с.
57. Степаненко, Е. Е. Оценка химического состава воды Новотроицкого водохранилища Ставропольского края / Е. Е. Степаненко, Ю. А. Мандра, Р. С. Еременко, Т. Г. Зеленская // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 9. – С. 26-29.
58. Субетто, Д. А. Донные отложения разнотипных водоёмов, методы изучения, Карельский научный центр РАН / Д. А. Субетто, М. Я. Прыткова. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2016. – 89 с.

59. Фадеев, В. В. Связь между гидрохимическим и водным режимом равнинных и горных рек СССР / В. В. Фадеев, М. Н. Тарасов, В. Л. Павенко // Труды IV гидрологического съезда / Т. 9. Качество вод и научные основы их охраны. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1976. – С. 97-101.
60. Федоров, М. П. Экология для гидротехников : учебное пособие / М. П. Федоров, М. Б. Шилин, Н. Н. Ролле. Санкт-Петербург : ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1992. – 80 с.
61. Шварева, И. С. Тяжёлые металлы в наземных и водных экосистемах: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. хим. наук : 03.00.16 / Ирина Станиславовна Шварёва. – Иваново, 2006. – 15 с.
62. Bogutskaya, N. G., Naseka A. M., Shedko S.V., Vasil'eva E. D., Chereshev I. A. The fishes of the Amur river: updated check-list and zoogeography // Ichthyol. Explor. Freshwaters, 2008.- Vol. 19.- № 4. – P. 301-366.
63. Erbaeva, E. A., Safronov G. P. Results of the Bratsk reservoir ecosystem monitoring // Journal of Lake Sciences. – Suppl., 1998. – Vol.10. – P. 549-558.
64. Kuznetsova, O. A., Gold Z. G., Anufrieva T. N., Muchkina E. Y., Kozhevnikova N. A., Tropina C. P. The dynamics of structural characteristics of the ecosystem in the Krasnoyarsk deep-water reservoir (1977-1999) // Biodiversity and dynamics of ecosystem in North Eurasia: – Novosibirsk. SB RAS, 2000. – Vol.5. – P.1. – P.125-127.
65. Vladut T. The International Water Power and Dam Construction // Int. Water Power and Dam Construction, 1996. – № 2. – P. 112-125.
66. Vladut T. Reservoirs and environment // Int. Water Power and Dam Construction, 1997. – № 3. – P. 28-30.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

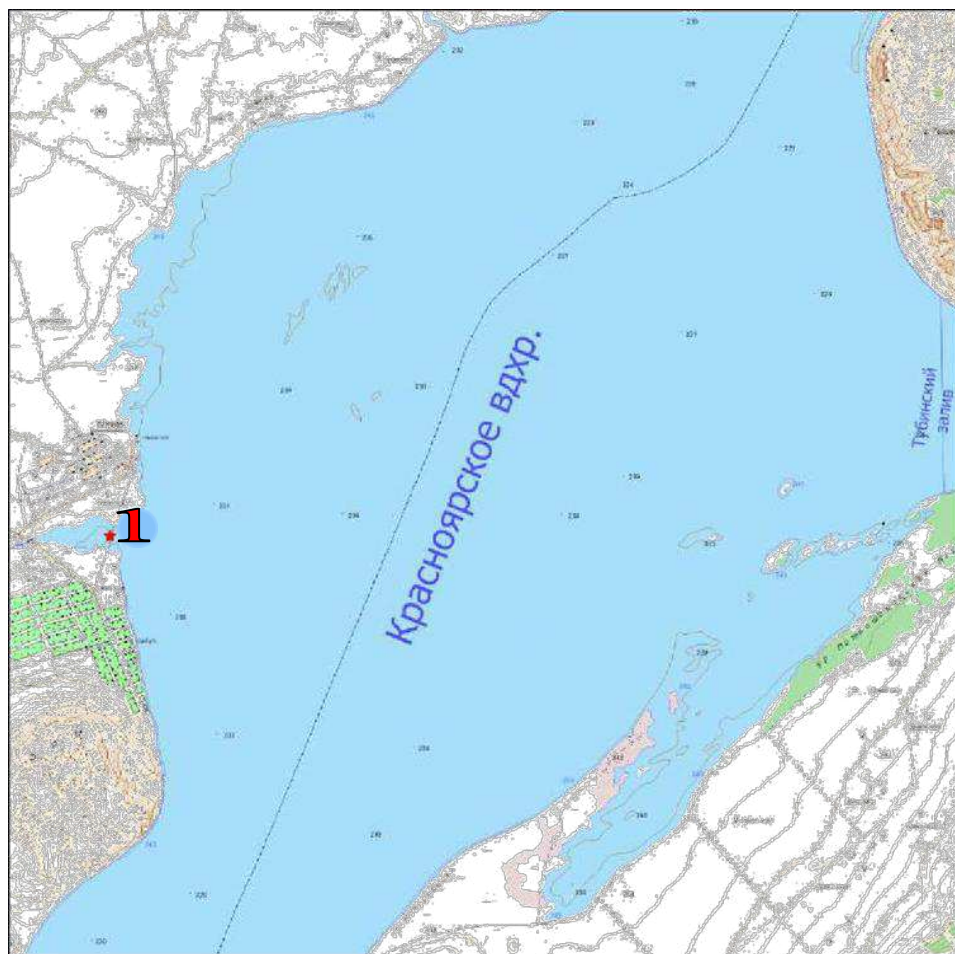
## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Водохранилища ГЭС на территории Красноярского края [14]

| Название                                   | Местонахождение,<br>км от устья | Годы наполнения,<br>назначение                            | Площадь<br>водного<br>зеркала<br>при<br>НПУ, км <sup>2</sup> | Объем, млн. м <sup>3</sup> |          |
|--|---------------------------------|---|--|----------------------------|----------|
|  |                                 |   |  | полный                     | полезный |
| вдхр. Богучанской ГЭС,<br>р. Ангара        | г. Кодинск, 445                 | 2012-2014,<br>гидроэнергетика                             | 2348,1   | 58220,0                    | 2310,0   |
| вдхр. Красноярской ГЭС,<br>р. Енисей       | г. Дивногорск, 2493             | 1967-1970,<br>гидроэнергетика,<br>судоходство             | 2000,0   | 73300,0                    | 30400,0  |
| вдхр. Саяно-Шушенской<br>ГЭС,<br>р. Енисей | н.п. Черемушки, 3050            | 1981-1990,<br>гидроэнергетика,<br>судоходство             | 608,0  | 30710,0                    | 14710,0  |
| вдхр Майнское,<br>р. Енисей                | н.п. Майна, 3029                | 1984-1985,<br>гидроэнергетика,<br>судоходство             | 10,7   | 94,6                       | 48,8     |
| вдхр. Усть-Хантайской ГЭС,<br>р. Хантайка  | г. Снежногорск, 63              | 1974-1975,<br>энергетика,<br>техническое<br>водоснабжение | 2230,0   | 25550,0                    | 14030,0  |
| вдхр. Курейской ГЭС,<br>р. Курейка         | г. Светлогорск, 101             | 1993-1994,<br>энергетика,<br>техническое<br>водоснабжение | 558,0  | 9962,0                     | 7300,0   |

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Карта - схема сети пунктов наблюдений за состоянием поверхностных вод и донных отложений Красноярского водохранилища (по Программе мониторинга) [19]

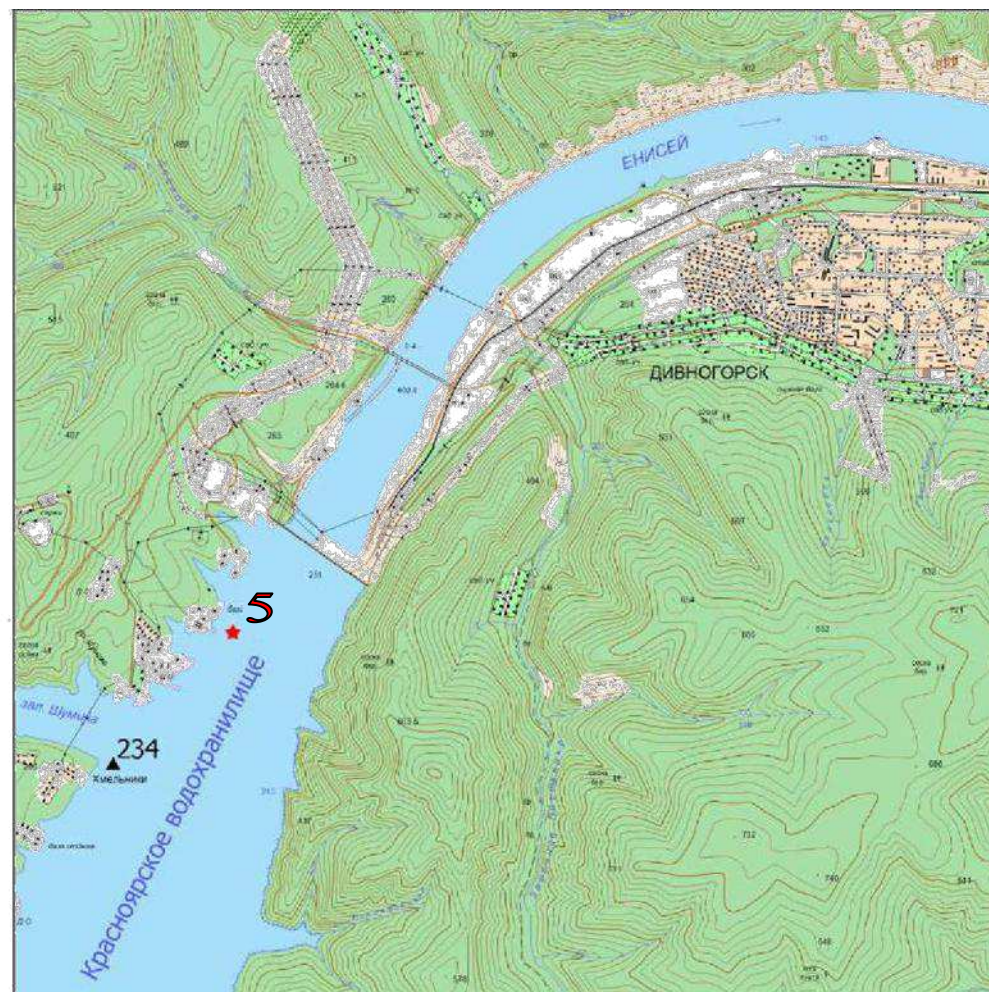
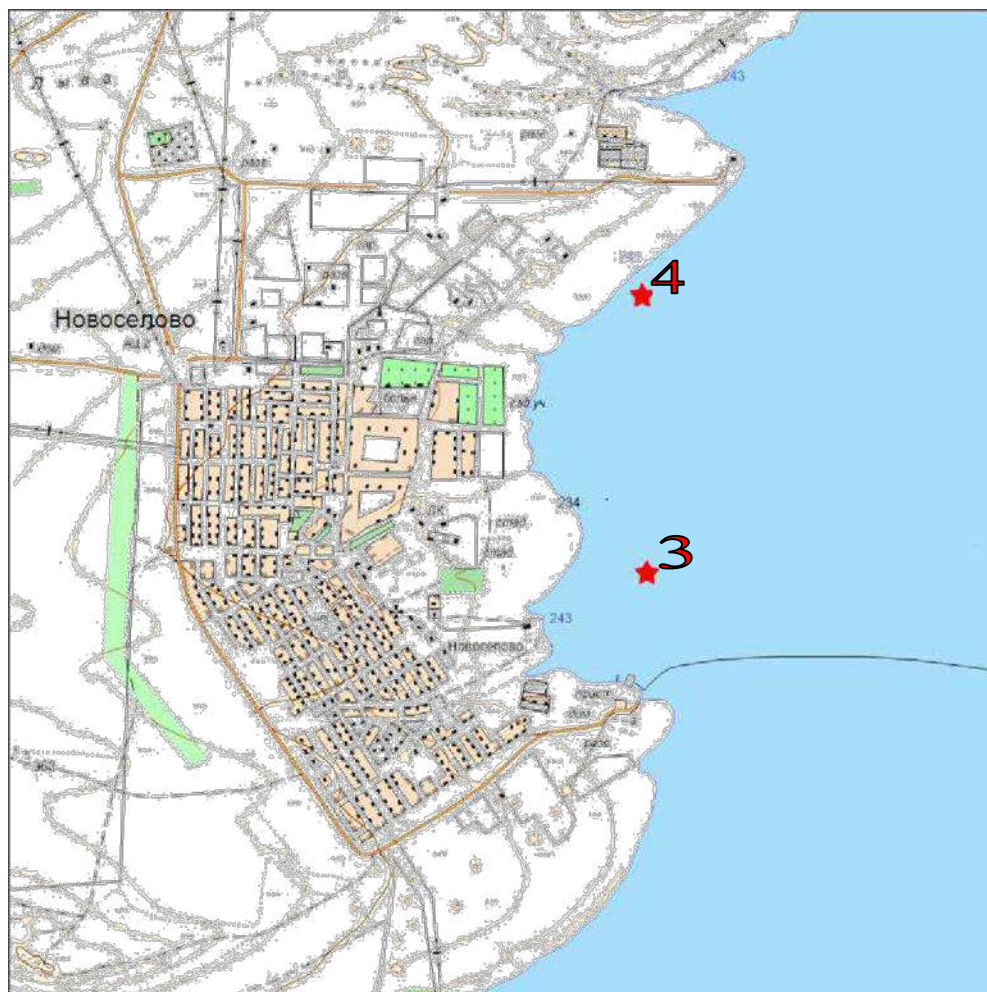


Примечание: 1 - Устьевой участок р. Биджа, 2 - Сыдинский залив, п. Краснотуранск



## Окончание приложения Б

Карта - схема сети пунктов наблюдений за состоянием поверхностных вод и донных отложений Красноярского водохранилища (по Программе мониторинга) [19]



Примечание: 3 - Новоселовский плес, 4 - п. Новоселово, 5 - Предплотинный участок



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Содержание загрязняющих веществ в пробах воды в створах пунктов наблюдений Красноярского водохранилища в 2013-2017 гг.

| Место отбора проб                              | Дата отбора | ПДК (рыбохоз) загрязняющих веществ |            |                 |                      |        |      |         |         |          |     |      |      |      |      |     |     |
|--|-------------|------------------------------------|------------|-----------------|----------------------|--------|------|---------|---------|----------|-----|------|------|------|------|-----|-----|
|  |             | Температура, °C                    | pH, ед. pH | Раств. кислород | БПК <sub>полн.</sub> | Фенолы | НФПР | Нитраты | Хлориды | Сульфаты | ХПК | Fe   | Cu   | Mn   | Zn   | Al  | Ni  |
| 1  | 2           | 3                                  | 4          | 5               | 6                    | 7      | 8    | 9       | 10      | 11       | 12  | 13   | 14   | 15   | 16   | 17  | 18  |
| Устье р. Биджа, 500 м выше, поверхность        | 2013        | 9,5                                | 7,7        | 10,9            | 0,42                 | 0, 7   | 0,48 | 0,02    | 0,01    | 0,06     | 0,4 | 4,2  | 1,6  | 0, 5 | 0, 3 | 1,1 | 0,1 |
|  | 2014        | 6,6                                | 7,8        | 10,5            | 0,49                 | 0, 9   | 0,40 | 0,02    | 0,01    | 0,06     | 0,5 | 2,6  | 1,6  | 1,6  | 0, 5 | 1,4 | 0,1 |
|  | 2015        | 9,2                                | 7,4        | 9,9             | 0,47                 | 0, 5   | 0,42 | 0,02    | 0,01    | 0,05     | 0,7 | 8,5  | 5,0  | 0, 4 | 0, 5 | 1,0 | 0,2 |
|  | 2016        | 10,5                               | 8,0        | 10,3            | 0,50                 | 0,8    | 0,43 | 0,01    | 0,01    | 0,08     | 0,4 | 5,2  | 2,3  | 1,2  | 0,4  | 1,2 | 0,2 |
|  | 2017        | 8,7                                | 7,9        | 10,2            | 0,48                 | 0,9    | 0,51 | 0,01    | 0,01    | 0,07     | 0,6 | 3,8  | 1,9  | 1,0  | 0,4  | 1,1 | 0,2 |
| Устье р. Биджа, 500 м выше, глубина 0,5h       | 2013        | 9,3                                | 7,7        | 10,7            | 0,43                 | 0, 6   | 0,46 | 0,01    | 0,01    | 0,06     | 0,4 | 4,0  | 1,5  | 0, 5 | 0, 2 | 1,0 | 0,1 |
|  | 2014        | 7,0                                | 7,8        | 10,3            | 0,49                 | 0, 7   | 0,40 | 0,01    | 0,01    | 0,07     | 0,6 | 2,4  | 1,6  | 1,5  | 0, 5 | 1,4 | 0,1 |
|  | 2015        | 8,9                                | 7,4        | 9,8             | 0,47                 | 0, 5   | 0,42 | 0,02    | 0,01    | 0,05     | 0,7 | 8,3  | 5,2  | 0, 4 | 0, 4 | 1,1 | 0,2 |
|  | 2016        | 10,3                               | 8,0        | 10,3            | 0,51                 | 0,6    | 0,41 | 0,02    | 0,01    | 0,07     | 0,3 | 5,1  | 2,3  | 1,1  | 0,4  | 1,2 | 0,2 |
|  | 2017        | 8,7                                | 7,9        | 10,1            | 0,49                 | 0,7    | 0,51 | 0,02    | 0,02    | 0,08     | 0,6 | 3,9  | 2,0  | 1,2  | 0,5  | 1,4 | 0,2 |
| Устье р. Биджа, 500 м выше, придонный горизонт | 2013        | 9,3                                | 7,8        | 10,9            | 0,42                 | 0, 5   | 0,48 | 0,01    | 0,01    | 0,06     | -   | 4,0  | 1,7  | 0, 5 | 0, 3 | 1,1 | 0,1 |
|  | 2014        | 6,5                                | 7,7        | 10,6            | 0,40                 | 0, 7   | 0,41 | 0,01    | 0,01    | 0,07     | 0,5 | 2,2  | 1,6  | 1,3  | 0, 5 | 1,4 | 0,1 |
|  | 2015        | 9,2                                | 7,8        | 9,9             | 0,41                 | 0, 5   | 0,42 | 0,02    | 0,01    | 0,05     | 0,7 | 8,1  | 5,5  | 0, 4 | 0, 5 | 1,0 | 0,2 |
|  | 2016        | 10,0                               | 8,0        | 10,5            | 0,42                 | 0,6    | 0,44 | 0,02    | 0,01    | 0,07     | 0,4 | 5,0  | 2,3  | 1,1  | 0,4  | 1,2 | 0,2 |
|  | 2017        | 8,7                                | 7,9        | 10,2            | 0,48                 | 0,9    | 0,51 | 0,02    | 0,02    | 0,08     | 0,7 | 4,2  | 2,5  | 1,5  | 0,6  | 1,1 | 0,2 |
| Устье р. Биджа, 500 м ниже, поверхность        | 2013        | 10,6                               | 7,8        | 10,9            | 0,49                 | 0, 7   | 0,40 | 0,02    | 0,01    | 0,09     | -   | 3,9  | 0, 7 | 0, 9 | 0, 3 | 1,0 | 0,1 |
|  | 2014        | 6,4                                | 7,7        | 10,7            | 0,61                 | 1,0    | 0,40 | 0,02    | 0,01    | 0,07     | 0,6 | 2,1  | 3,0  | 2,5  | 0, 6 | 1,7 | 0,1 |
|  | 2015        | 12,5                               | 7,8        | 9,8             | 0,53                 | 0, 5   | 0,40 | 0,02    | 0,01    | 0,06     | 0,7 | 8,4  | 1,0  | 0, 4 | 0,5  | 0,1 | 0,1 |
|  | 2016        | 10,3                               | 8,0        | 10,3            | 0,59                 | 0,7    | 0,42 | 0,02    | 0,02    | 0,09     | 0,5 | 4,1  | 0,9  | 1,1  | 0,4  | 1,2 | 0,2 |
|  | 2017        | 9,0                                | 7,9        | 10,0            | 0,62                 | 0,6    | 0,40 | 0,02    | 0,01    | 0,07     | 0,7 | 7,2  | 2,2  | 0,8  | 0,3  | 1,1 | 0,2 |
| Устье р. Биджа, 500 м ниже, глубина 0,5h       | 2013        | 10,3                               | 7,8        | 10,7            | 0,40                 | 0, 5   | 0,46 | 0,01    | 0,01    | 0,06     | -   | 3,9  | 1,0  | 0, 6 | 0, 4 | 1,1 | 0,1 |
|  | 2014        | 6,4                                | 7,4        | 10,2            | 0,43                 | 0, 7   | 0,40 | 0,01    | 0,01    | 0,06     | 0,5 | 2,4  | 2,9  | 1,3  | 0, 6 | 1,3 | 0,1 |
|  | 2015        | 11,3                               | 8,0        | 9,8             | 0,42                 | 0, 5   | 0,41 | 0,02    | 0,01    | 0,05     | 0,7 | 7,9  | 1,0  | 0, 4 | 0, 5 | 1,0 | 0,2 |
|  | 2016        | 10,1                               | 7,9        | 10,3            | 0,50                 | 0,7    | 0,43 | 0,02    | 0,02    | 0,08     | 0,4 | 5,2  | 1,0  | 1,1  | 0,4  | 1,2 | 0,2 |
|  | 2017        | 9,0                                | 7,4        | 10,1            | 0,51                 | 0,8    | 0,52 | 0,02    | 0,02    | 0,07     | 0,6 | 4,1  | 2,3  | 0,9  | 0,4  | 1,0 | 0,2 |
| Устье р. Биджа, 500 м ниже, придонный горизонт | 2013        | 10,2                               | 7,8        | 10,8            | 0,42                 | 0, 6   | 0,48 | 0,01    | 0,01    | 0,06     | -   | 4,2  | 0, 7 | 1,0  | 0, 3 | 1,1 | 0,1 |
|  | 2014        | 6,5                                | 7,7        | 10,5            | 0,49                 | 0, 7   | 0,41 | 0,01    | 0,01    | 0,06     | 0,5 | 2,6  | 3,0  | 1,5  | 0, 5 | 1,4 | 0,1 |
|  | 2015        | 10,7                               | 7,8        | 9,9             | 0,47                 | 0, 5   | 0,42 | 0,02    | 0,01    | 0,05     | 0,7 | 8,5  | 1,2  | 0, 4 | 0, 5 | 1,0 | 0,2 |
|  | 2016        | 10,0                               | 8,0        | 10,4            | 0,50                 | 0,7    | 0,45 | 0,02    | 0,01    | 0,08     | 0,4 | 5,2  | 1,0  | 1,1  | 0,4  | 1,2 | 0,2 |
|  | 2017        | 8,9                                | 7,9        | 10,2            | 0,48                 | 0,9    | 0,51 | 0,02    | 0,01    | 0,07     | 0,6 | 4,5  | 2,5  | 1,2  | 0,5  | 1,1 | 0,2 |
| Краснотуранск, 500м выше ОС, поверхность       | 2013        | 14,7                               | 8,0        | 11,1            | 0,70                 | 0,7    | 0,50 | 0,01    | 0,01    | 0,06     | -   | 15,0 | 1,2  | 0, 5 | 0, 4 | 1,0 | 0,1 |
|  | 2014        | 8,1                                | 8,0        | 10,7            | 1,93                 | 0,7    | 0,42 | 0,01    | 0,01    | 0,07     | 1,1 | 8,0  | 0,6  | 1,2  | 0, 5 | 1,0 | 0,1 |
|  | 2015        | 9,6                                | 7,7        | 10,3            | 0,87                 | 0,7    | 0,56 | 0,01    | 0,01    | 0,05     | 0,8 | 5,2  | 1,3  | 0, 4 | 0, 5 | 3,8 | 0,1 |
|  | 2016        | 12,9                               | 7,9        | 8,8             | 2,37                 | 0,7    | 0,52 | 0,01    | 0,03    | 0,05     | 0,9 | 2,5  | 2,0  | 0, 4 | 0, 4 | 1,0 | 0,1 |

## Продолжение приложения В

| 1   | 2    | 3    | 4   | 5    | 6    | 7   | 8    | 9    | 10   | 11   | 12  | 13   | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  |
|---|------|------|-----|------|------|-----|------|------|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Краснотуранск, 500м<br>выше ОС, глубина 0,5h          | 2013 | 14,6 | 8,1 | 11,0 | 0,71 | 0,6 | 0,49 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | -   | 2,5  | 1,2 | 0,5 | 0,4 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2014 | 8,0  | 8,0 | 10,5 | 1,91 | 0,7 | 0,41 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | 1,0 | 2,1  | 1,0 | 1,1 | 0,5 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2015 | 9,4  | 7,8 | 10,3 | 0,85 | 0,7 | 0,54 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,8 | 17,2 | 1,2 | 0,4 | 0,5 | 3,0 | 0,1 |
|   | 2016 | 12,0 | 7,9 | 8,8  | 1,37 | 0,7 | 0,50 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,9 | 9,7  | 2,0 | 0,4 | 0,3 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2017 | 10,5 | 8,2 | 9,4  | 0,30 | 0,5 | 0,40 | 0,02 | 0,02 | 0,09 | 0,9 | 6,2  | 2,2 | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 0,2 |
| Краснотуранск, 500м<br>выше ОС, придонный<br>горизонт | 2013 | 14,4 | 8,0 | 10,9 | 0,72 | 0,7 | 0,50 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | -   | 2,2  | 1,1 | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2014 | 7,9  | 8,1 | 10,4 | 1,90 | 0,7 | 0,42 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 1,1 | 2,1  | 0,9 | 1,0 | 0,6 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2015 | 9,2  | 7,8 | 10,1 | 0,85 | 0,7 | 0,56 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,8 | 18,5 | 1,2 | 0,4 | 0,5 | 2,8 | 0,1 |
|   | 2016 | 12,1 | 7,9 | 8,8  | 1,35 | 0,7 | 0,52 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,9 | 9,7  | 1,9 | 0,4 | 0,4 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2017 | 10,3 | 8,2 | 9,2  | 0,30 | 0,5 | 0,38 | 0,02 | 0,01 | 0,08 | 0,9 | 6,5  | 2,4 | 0,5 | 0,7 | 1,0 | 0,1 |
| Краснотуранск, 500м<br>ниже ОС, поверхность           | 2013 | 14,7 | 8,1 | 10,0 | 0,51 | 1,0 | 0,52 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | -   | 23,7 | 1,4 | 0,6 | 0,4 | 1,0 | 0,2 |
|   | 2014 | 7,9  | 7,9 | 10,5 | 2,40 | 0,5 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | 1,4 | 18,2 | 0,9 | 1,3 | 0,4 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2015 | 9,5  | 7,8 | 10,0 | 2,68 | 2,5 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,07 | 0,8 | 11,7 | 1,6 | 0,5 | 0,6 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2016 | 12,3 | 8,0 | 8,4  | 0,89 | 0,5 | 0,74 | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,8 | 6,3  | 2,5 | 2,2 | 0,4 | 1,0 | 1,1 |
|   | 2017 | 10,9 | 7,9 | 10,0 | 1,69 | 0,7 | 0,64 | 0,01 | 0,03 | 0,10 | 0,8 | 4,3  | 3,0 | 0,6 | 0,9 | 1,0 | 0,2 |
| Краснотуранск, 500м<br>ниже ОС, глубина 0,5h          | 2013 | 14,5 | 8,0 | 11,0 | 1,51 | 1,2 | 0,50 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | -   | 26,1 | 1,0 | 0,5 | 0,4 | 1,0 | 0,2 |
|   | 2014 | 7,8  | 7,9 | 10,3 | 2,45 | 0,5 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 1,3 | 18,0 | 0,6 | 1,1 | 0,4 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2015 | 9,3  | 7,8 | 11,2 | 2,60 | 2,3 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,8 | 11,1 | 1,3 | 0,5 | 0,6 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2016 | 12,0 | 8,0 | 8,5  | 0,95 | 0,5 | 0,72 | 0,01 | 0,02 | 0,06 | 0,9 | 8,3  | 2,1 | 2,0 | 0,4 | 1,0 | 0,2 |
|   | 2017 | 10,7 | 7,9 | 10,0 | 1,60 | 0,5 | 0,60 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 0,8 | 6,2  | 3,2 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 0,1 |
| Краснотуранск, 500м<br>ниже ОС, придонный<br>горизонт | 2013 | 14,5 | 8,1 | 11,0 | 0,55 | 1,0 | 0,49 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | -   | 28,7 | 0,9 | 0,6 | 0,4 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2014 | 7,7  | 7,9 | 10,5 | 2,40 | 0,5 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | 1,2 | 17,9 | 0,6 | 1,3 | 0,4 | 1,0 | 0,2 |
|   | 2015 | 9,2  | 7,9 | 11,5 | 2,62 | 2,5 | 0,41 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,8 | 11,3 | 1,2 | 0,5 | 0,6 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2016 | 12,0 | 8,0 | 8,7  | 0,89 | 0,5 | 0,74 | 0,01 | 0,02 | 0,05 | 0,7 | 8,3  | 2,0 | 2,2 | 0,4 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2017 | 10,5 | 7,9 | 10,0 | 0,89 | 0,5 | 0,60 | 0,01 | 0,02 | 0,09 | 0,8 | 6,0  | 3,5 | 0,9 | 0,9 | 1,1 | 0,2 |
| Новосёловский плёс,<br>0,1В, поверхность              | 2013 | 10,3 | 7,9 | 9,9  | 0,89 | 0,6 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,07 | 0,7 | 4,8  | 0,9 | 0,5 | 0,4 | 1,1 | 0,2 |
|   | 2014 | 8,1  | 8,0 | 11,1 | 0,57 | 1,1 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,08 | 0,5 | 1,1  | 0,4 | 0,3 | 2,1 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2015 | 8,3  | 7,6 | 10,5 | 0,52 | 0,5 | 0,46 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,5 | 2,1  | 1,9 | 1,3 | 0,9 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2016 | 12,6 | 8,0 | 9,8  | 0,58 | 0,6 | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,6 | 2,3  | 3,5 | 0,2 | 0,5 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2017 | 10,3 | 8,0 | 10,8 | 0,58 | 0,5 | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,10 | 0,6 | 2,3  | 1,0 | 0,3 | 0,2 | 1,0 | 0,3 |
| Новосёловский плёс,<br>0,5В, поверхность              | 2013 | 10,4 | 7,8 | 10,0 | 0,41 | 1,1 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,07 | 0,4 | 4,4  | 1,0 | 0,6 | 0,5 | 1,1 | 0,1 |
|   | 2014 | 8,5  | 7,9 | 10,8 | 0,54 | 0,8 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,6 | 1,4  | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2015 | 8,8  | 7,7 | 10,3 | 0,39 | 0,6 | 0,44 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,5 | 1,8  | 1,6 | 0,3 | 0,8 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2016 | 13,1 | 7,9 | 9,7  | 0,54 | 0,6 | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,4 | 2,0  | 1,4 | 0,3 | 0,4 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2017 | 10,6 | 8,1 | 11,0 | 0,50 | 0,5 | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,10 | 0,5 | 2,2  | 1,0 | 0,5 | 0,3 | 1,0 | 0,0 |
| Новосёловский плёс,<br>0,5В, глубина 0,5h             | 2013 | 3,6  | 7,9 | 13,1 | 1,30 | 0,5 | 0,40 | 0,03 | 0,01 | 0,12 | 0,7 | 3,5  | 0,6 | 1,0 | 0,2 | 0,6 | 0,1 |
|   | 2014 | 7,2  | 7,8 | 10,6 | 0,43 | 2,1 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,5 | 2,0  | 5,4 | 0,5 | 1,8 | 1,6 | 0,1 |
|   | 2015 | 9,1  | 7,6 | 10,1 | 0,47 | 1,1 | 0,54 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,5 | 1,8  | 1,1 | 0,3 | 0,8 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2016 | 9,7  | 7,9 | 9,8  | 0,47 | 0,7 | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,5 | 2,0  | 1,7 | 0,3 | 1,1 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2017 | 8,7  | 8,0 | 10,8 | 0,47 | 0,5 | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,10 | 0,6 | 2,5  | 1,3 | 0,9 | 0,5 | 1,0 | 0,3 |

## Продолжение приложения В

| 1   | 2    | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12  | 13  | 14   | 15   | 16   | 17  | 18   |
|---|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|-----|------|
| Новосёлковский плёс,<br>0,5В,<br>придонный горизонт | 2013 | 11,0 | 7,7 | 8,3  | 0,47 | 1,1  | 0,52 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | -   | 5,5 | 1,9  | 0,6  | 1,7  | 1,3 | 0, 2 |
|   | 2014 | 6,5  | 7,8 | 10,6 | 0,44 | 1,0  | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,5 | 1,9 | 1,0  | 0,4  | 1,4  | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2015 | 8,5  | 7,7 | 10,3 | 0,55 | 0, 6 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,5 | 2,0 | 1,2  | 0,3  | 0, 9 | 1,0 | 0, 3 |
|   | 2016 | 11,2 | 7,9 | 9,4  | 0,44 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,08 | 0,5 | 6,0 | 1,9  | 0,3  | 0, 9 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2017 | 8,0  | 7,9 | 11,0 | 0,64 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,11 | 0,6 | 3,7 | 2,6  | 4,6  | 0, 9 | 1,0 | 0, 3 |
| Новосёлковский плёс,<br>0,9В, поверхность           | 2013 | 10,5 | 7,8 | 8,8  | 0,45 | 1,0  | 0,52 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | -   | 5,4 | 1,9  | 0, 7 | 2,4  | 1,0 | 0, 4 |
|   | 2014 | 6,4  | 7,8 | 10,6 | 0,48 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,6 | 2,4 | 1,4  | 2,3  | 1,7  | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2015 | 9,3  | 7,6 | 10,0 | 0,56 | 0, 6 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 2,9 | 0,9  | 0, 9 | 0, 9 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2016 | 11,7 | 7,8 | 9,7  | 0,59 | 0, 5 | 0,42 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,5 | 2,8 | 1,6  | 0, 2 | 0, 7 | 1,0 | 0, 2 |
|   | 2017 | 8,0  | 8,0 | 10,7 | 0,51 | 0, 5 | 0,42 | 0,02 | 0,03 | 0,11 | 0,5 | 2,3 | 1,0  | 0, 6 | 0, 1 | 1,0 | 0, 3 |
| Новосёлковский плёс,<br>0,9В, глубина, 0,5h         | 2013 | 3,1  | 7,8 | 13,0 | 0,43 | 0, 5 | 0,40 | 0,03 | 0,00 | 0,12 | 0,5 | 1,9 | 0, 6 | 0, 7 | 0, 2 | 0,6 | 0, 1 |
|   | 2014 | 7,5  | 7,8 | 10,5 | 0,24 | 0, 9 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,5 | 1,8 | 1,1  | 0, 3 | 1,5  | 1,0 | 0, 3 |
|   | 2015 | 9,4  | 7,6 | 10,2 | 0,53 | 0, 5 | 0,46 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,4 | 1,8 | 1,2  | 0, 3 | 0, 7 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2016 | 10,8 | 7,7 | 9,9  | 0,59 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,5 | 2,1 | 1,5  | 0, 2 | 0, 9 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2017 | 9,3  | 7,9 | 10,2 | 0,50 | 0, 5 | 0,50 | 0,02 | 0,03 | 0,10 | 0,6 | 2,6 | 0, 9 | 0, 3 | 0, 3 | 1,0 | 0, 3 |
| Новосёлковский плёс,<br>0,9В,<br>придонный горизонт | 2013 | 10,5 | 7,7 | 8,8  | 0,44 | 1,0  | 0,52 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | -   | 5,4 | 1,9  | 0, 7 | 2,4  | 1,0 | 0, 4 |
|   | 2014 | 6,4  | 7,8 | 10,6 | 0,48 | 0, 5 | 0,42 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,6 | 2,4 | 2,7  | 1,3  | 1,7  | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2015 | 9,3  | 7,6 | 10,0 | 0,56 | 0, 6 | 0,48 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 1,6 | 0,9  | 0, 3 | 0, 9 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2016 | 11,7 | 8,0 | 9,7  | 0,67 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,5 | 3,6 | 1,6  | 0, 2 | 0, 7 | 1,0 | 0, 2 |
|   | 2017 | 8,1  | 8,0 | 10,7 | 0,73 | 0, 5 | 0,40 | 0,02 | 0,03 | 0,10 | 0,5 | 2,3 | 1,3  | 0, 2 | 0, 2 | 1,0 | 1,1  |
| Новосёлово, выше ОС,<br>поверхность                 | 2013 | 10,2 | 7,9 | 10,0 | 0,38 | 0, 9 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,07 | 0,7 | 4,6 | 1,1  | 0, 6 | 0, 4 | 1,0 | 0, 3 |
|   | 2014 | 8,0  | 7,9 | 10,9 | 0,62 | 1,1  | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,4 | 1,6 | 0, 4 | 0, 6 | 0, 5 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2015 | 8,9  | 7,6 | 10,3 | 0,50 | 0,6  | 0,42 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,4 | 3,1 | 0, 9 | 0, 6 | 0, 9 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2016 | 13,2 | 8,0 | 10,0 | 0,60 | 0, 5 | 0,48 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,6 | 2,8 | 1,4  | 0, 2 | 1,1  | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2017 | 10,9 | 8,0 | 10,6 | 0,42 | 0, 5 | 0,42 | 0,01 | 0,03 | 0,10 | 0,5 | 1,1 | 0,9  | 0, 3 | 0, 3 | 1,0 | 0, 3 |
| Новосёлово, ниже ОС,<br>поверхность                 | 2013 | 10,3 | 7,8 | 10,2 | 0,39 | 0, 7 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,07 | 0,6 | 4,7 | 1,5  | 0, 6 | 0, 5 | 1,1 | 0, 1 |
|   | 2014 | 8,0  | 7,9 | 11,0 | 0,64 | 0, 7 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,5 | 5,2 | 0, 9 | 0, 3 | 0, 4 | 1,0 | 0, 4 |
|   | 2015 | 8,5  | 7,7 | 10,3 | 0,58 | 0, 6 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,6 | 3,2 | 0,9  | 0, 3 | 0, 6 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2016 | 13,1 | 8,1 | 9,9  | 0,52 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,7 | 2,2 | 1,8  | 0, 2 | 0, 3 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2017 | 10,7 | 8,0 | 10,6 | 0,46 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 0,7 | 1,2 | 5,7  | 0, 4 | 0, 4 | 1,0 | 0, 3 |
| Предплотинный<br>участок, 0,1В,<br>поверхность      | 2013 | 8,1  | 8,0 | 11,1 | 0,39 | 0, 9 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | 0,3 | 1,2 | 0, 5 | 0, 4 | 0, 3 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2014 | 5,4  | 7,8 | 11,7 | 0,51 | 0, 8 | 0,46 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 1,3 | 2,5  | 0, 3 | 0, 6 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2015 | 8,6  | 7,8 | 11,7 | 0,70 | 0, 5 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,6 | 1,3 | 1,0  | 0, 3 | 0, 5 | 1,0 | 0, 2 |
|   | 2016 | 7,5  | 7,9 | 10,7 | 0,47 | 0, 5 | 0,42 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 0,6 | 1,4 | 1,2  | 0, 3 | 0, 5 | 1,0 | 0, 6 |
|   | 2017 | 7,8  | 8,0 | 10,9 | 0,53 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 0,6 | 2,1 | 1,4  | 0, 4 | 1,1  | 1,0 | 0, 2 |
| Предплотинный<br>участок, 0,1В,<br>глубина 0,5h     | 2013 | 8,8  | 7,8 | 10,1 | 0,39 | 0, 8 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | -   | 1,4 | 0, 6 | 1,1  | 0, 5 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2014 | 4,2  | 7,8 | 11,7 | 0,52 | 0, 9 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 0,2 | 2,5  | 0, 3 | 0, 9 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2015 | 7,8  | 7,7 | 11,0 | 0,59 | 0, 5 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,7 | 1,3 | 1,1  | 0, 3 | 0, 7 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2016 | 6,6  | 7,8 | 10,7 | 0,44 | 0, 5 | 0,42 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 0,5 | 1,2 | 1,5  | 0, 3 | 0, 7 | 1,0 | 0, 1 |
|   | 2017 | 6,9  | 8,0 | 10,9 | 0,53 | 0, 5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 0,5 | 1,7 | 1,4  | 0, 3 | 0, 6 | 1,0 | 0, 2 |

## Окончание приложения В

| 1   | 2    | 3   | 4   | 5    | 6    | 7   | 8    | 9    | 10   | 11   | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  |
|---|------|-----|-----|------|------|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Предплотинный<br>участок, 0,1В,<br>придонный гор. | 2013 | 8,4 | 7,8 | 9,4  | 0,46 | 0,7 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | -   | 1,2 | 0,6 | 0,4 | 1,4 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2014 | 4,2 | 7,9 | 11,8 | 0,56 | 0,9 | 0,42 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 1,3 | 1,8 | 0,3 | 1,1 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2015 | 5,3 | 7,6 | 11,2 | 0,57 | 0,5 | 0,40 | 0,03 | 0,01 | 0,06 | 0,6 | 1,2 | 3,3 | 0,3 | 0,6 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2016 | 5,3 | 7,8 | 11,8 | 0,46 | 0,5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 0,6 | 1,7 | 1,0 | 0,3 | 0,7 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2017 | 4,5 | 8,0 | 11,6 | 0,50 | 0,5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 0,6 | 1,6 | 1,5 | 0,3 | 0,6 | 1,0 | 0,1 |
| Предплотинный<br>участок, 0,5В,<br>поверхность    | 2013 | 7,8 | 8,0 | 10,6 | 0,52 | 0,8 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,06 | 0,3 | 1,3 | 0,7 | 0,5 | 0,3 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2014 | 4,8 | 8,0 | 11,3 | 0,55 | 0,8 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 1,4 | 1,2 | 0,4 | 0,5 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2015 | 8,3 | 7,8 | 11,1 | 0,64 | 0,5 | 1,61 | 0,01 | 0,01 | 0,08 | 0,6 | 1,3 | 1,1 | 0,3 | 0,6 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2016 | 7,5 | 7,8 | 10,9 | 0,37 | 0,5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,08 | 0,5 | 1,2 | 1,2 | 0,3 | 0,6 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2017 | 7,8 | 8,1 | 10,9 | 0,58 | 0,5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 0,5 | 1,6 | 1,1 | 0,4 | 0,4 | 1,0 | 0,2 |
| Предплотинный<br>участок, 0,5В,<br>глубина 0,6h   | 2013 | 9,2 | 7,8 | 10,1 | 0,53 | 1,3 | 0,44 | 0,02 | 0,01 | 0,08 | 0,6 | 1,5 | 0,9 | 0,6 | 1,2 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2014 | 4,3 | 7,9 | 11,8 | 0,49 | 0,9 | 0,50 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 1,2 | 1,3 | 0,3 | 1,2 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2015 | 4,9 | 7,6 | 11,1 | 0,55 | 0,5 | 0,40 | 0,03 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 1,0 | 1,4 | 0,3 | 0,6 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2016 | 5,4 | 7,9 | 10,5 | 0,46 | 0,5 | 0,40 | 0,02 | 0,02 | 0,07 | 0,5 | 1,4 | 1,1 | 0,3 | 0,7 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2017 | 5,2 | 7,9 | 11,4 | 0,48 | 0,5 | 0,40 | 0,02 | 0,02 | 0,10 | 0,5 | 2,2 | 1,2 | 0,4 | 0,5 | 1,0 | 0,1 |
| Предплотинный<br>участок, 0,5В,<br>придонный гор. | 2013 | 8,8 | 7,9 | 9,2  | 0,45 | 1,2 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,09 | -   | 1,5 | 0,8 | 0,8 | 0,4 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2014 | 4,9 | 7,9 | 11,2 | 0,55 | 2,7 | 0,46 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,5 | 1,3 | 2,2 | 0,5 | 2,6 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2015 | 4,5 | 7,6 | 10,9 | 0,45 | 0,5 | 3,4  | 0,03 | 0,01 | 0,05 | 0,6 | 1,2 | 1,0 | 0,4 | 0,8 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2016 | 5,0 | 7,9 | 10,8 | 0,47 | 0,5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 0,6 | 1,4 | 0,9 | 0,3 | 0,6 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2017 | 3,7 | 8,0 | 11,5 | 0,53 | 0,5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 0,5 | 2,7 | 1,3 | 0,4 | 0,8 | 1,0 | 0,2 |
| Предплотинный<br>участок, 0,9В,<br>поверхность    | 2013 | 9,4 | 7,9 | 11,0 | 0,50 | 0,8 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | 5,1 | 2,1 | 0,7 | 0,5 | 0,6 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2014 | 7,2 | 7,9 | 10,7 | 0,56 | 0,9 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 7,8 | 1,1 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2015 | 7,6 | 7,8 | 11,1 | 0,51 | 0,5 | 0,52 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | -   | 1,1 | 0,8 | 0,3 | 0,6 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2016 | 7,5 | 7,9 | 10,9 | 0,41 | 0,5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 7,7 | 1,1 | 1,3 | 0,2 | 0,6 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2017 | 7,5 | 8,1 | 10,8 | 0,60 | 0,5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 7,9 | 1,5 | 1,5 | 0,3 | 0,4 | 1,0 | 0,1 |
| Предплотинный<br>участок, 0,9В,<br>глубина 0,3h   | 2013 | 3,2 | 7,9 | 13,4 | 0,66 | 1,0 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,10 | 7,0 | 1,0 | 1,0 | 0,3 | 0,7 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2014 | 4,3 | 7,9 | 10,6 | 0,64 | 0,9 | 0,48 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 8,8 | 2,1 | 1,1 | 0,4 | 1,7 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2015 | 7,6 | 7,6 | 11,2 | 0,71 | 0,5 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,05 | 8,7 | 1,1 | 1,4 | 0,6 | 0,9 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2016 | 7,5 | 7,6 | 11,5 | 1,42 | 0,5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 7,6 | 1,2 | 1,2 | 0,2 | 0,6 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2017 | 6,1 | 8,0 | 11,2 | 0,60 | 0,5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 7,3 | 1,4 | 1,8 | 0,4 | 0,5 | 1,0 | 0,2 |
| Предплотинный<br>участок, 0,9В,<br>придонный гор. | 2013 | 6,5 | 7,8 | 10,1 | 0,52 | 0,8 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | -   | 1,6 | 1,3 | 0,5 | 1,4 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2014 | 4,3 | 7,9 | 10,7 | 0,61 | 0,8 | 0,40 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 7,0 | 1,4 | 1,2 | 0,7 | 1,2 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2015 | 4,3 | 7,6 | 11,2 | 0,52 | 0,5 | 0,40 | 0,02 | 0,01 | 0,04 | 7,7 | 1,0 | 1,2 | 0,4 | 0,8 | 1,0 | 0,1 |
|   | 2016 | 5,7 | 7,9 | 10,7 | 0,40 | 0,5 | 0,40 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 7,9 | 1,5 | 1,0 | 0,4 | 0,6 | 1,0 | 0,2 |
|   | 2017 | 4,1 | 8,0 | 11,1 | 0,60 | 0,5 | 0,44 | 0,01 | 0,02 | 0,10 | 8,2 | 1,9 | 1,3 | 0,4 | 0,4 | 1,0 | 0,1 |

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Предельно допустимые концентрации (ПДК<sub>рыбох.</sub>) основных загрязняющих веществ, определяемых в воде Красноярского водохранилища (мг/л)

| Ингредиент | Азот<br>аммон. | БПК <sub>полн</sub> | ХПК | Фосфаты | Сульфаты | Хлориды | Фенолы | НФПР | Железо | Марганец | Медь  | Цинк | Никель | Свинец | Ртуть   |
|------------|----------------|---------------------|-----|---------|----------|---------|--------|------|--------|----------|-------|------|--------|--------|---------|
| ПДК        | 0,4            | 3,0                 | 15  | 0,2     | 100      | 300     | 0,001  | 0,05 | 0,1    | 0,01     | 0,001 | 0,01 | 0,01   | 0,006  | 0,00001 |

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Карта - схема расположения пунктов наблюдений за состоянием поверхностных вод и донных отложений (по Программе мониторинга) и зон загрязненности воды (по значению УКИЗВ) на Красноярском водохранилище

